ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



Том 11
№ 9 (60)
2011

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2011

Т. 11 № 9 (60)
спецвыпуск

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издаётся с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Декабрь 2011 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**

Подписано в печать 29.12.2011.
Формат 60×84/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 26,8. Тираж 1000 экз. Заказ № 667. Цена свободная.

Адрес редакции:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.

Адрес издательского центра:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://science.donstu.ru

Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Могилевская Н. С., Колчанов С. С. Верификация криптографических протоколов распределения ключей с использованием раскрашенных сетей Петри... 1535

Сергеев А. С., Третьяков О. П., Васильев А. Е., Чернышёв Ю. О. Биоинспирированные методы криптоанализа асимметричных алгоритмов шифрования на основе факторизации составных чисел.. 1544

Заковоротный В. Л., Лукьянов В. Ф., Фам Динь Тунг, Фам Тху Хыонг Кинематические возмущения стационарных траекторий формообразующих движений в динамической системе резания.. 1555

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Рыжкин А. А., Бурлакова В. Э. Об электрических явлениях при трении........................... 1564

Варавка В. Н., Кудряков О. В., Медников А. Ф. Прогнозирование эрозионного износа титановых сплавов в условиях длительного каплеударного воздействия.............................. 1574

Жаров В. П. Динамика и моделирование транспортно-технологических машин для сельского хозяйства.. 1586

Степанов М. С., Домбровский Ю. М., Корнилов Ю. А. Сравнительный анализ методов ускорения поверхностного легирования в порошковых средах.. 1590

Варуха Е. Н., Сундетов М. Х., Морозкин И. С. Управление первоначальным зажиганием дуги при сварке в защитных газах.. 1594

Бровер А. В., Бровер Г. И. О протекании процесса рекристаллизации в быстрорежущих сталях при импульсном лазерном облучении.. 1601

Коробцов А. С. Человеческий ресурс в системе менеджмента качества сварочной продукции.. 1611

Полушкин О. О., Полушкин О. А. Моделирование динамики и балансировка гибкого ротора по *n*-й форме изгиба оси.. 1621

Лукьянов В. Ф., Рогозин Д. В., Грицыхин В. А. Ремонт металлических конструкций морских буровых и нефтедобывающих платформ... 1630

Рогов И. Е., Лаврентьев А. А., Анисимов С. Д. Применение комбинационных колебаний для повышения точности неразрушающего контроля стальных изделий............................... 1637

Рубанов В. В., Колотиенко С. Д. Установка для исследования изнашивания наплавочных материалов при трении качения.. 1646

Рыбак А. Т., Жаров В. П., Устьянцев М. В., Ефименко А. Г. Исследование рекуперативной гидромеханической системы стенда испытаний объёмных гидромашин.......................... 1651

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Муругова Е. В. Полевой подход во взаимодействии частей речи *(на англ. яз.)*.................... 1662

Ярёменко С. Н., Бондаренко Т. А., Курова Е. Г. Социальные типы личности в транзитивном обществе.. 1667

Тахтамышев В. Г. Социальная философия как теоретическое основание идеологии........... 1676

Тазаян А. Б., Аствацатуров А. Е. О некоторых противоречиях концепции эволюционной эпистемологии.. 1681

Штомпель Л. А. Индивидуализация времени социального субъекта в современном обществе и культуре.. 1688

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Стрельченко В. С., Богуславский И. В. Итерационно-вероятностный метод решения линейного уравнения межотраслевого баланса.. 1695

Симонян Т. В., Дащинский Д. Б. Методы и средства организации производства на основе планирования коммуникационных процессов.. 1700

Флек М. Б., Верченко Ю. К. Понятие, возможности и ограничения синергетического подхода в управлении на предприятии.. 1710

Ованесян Н. М., Мидлер Е. А. Управление рисками на промышленном предприятии посредством организационно-экономического механизма страхования.................................... 1719

Чекмарёва Г. И., Флек М. Б., Недоруб А. С. Особенности работы подсистемы «вспомогательное производство» промышленного предприятия.. 1726

Сведения об авторах.. 1734

VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2011

V. 11 № 9 (60) special issue

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)

Founded in 1999

8 issues a year

December 2011

Founder **— Don State Technical University**

Passed for printing 29.12.2011.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 26,8. Circulation 1000 cop. Order 667. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-85-65

Publishing Centre's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-87-41, 273-83-22
http://science.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Mogilevskaya N. S., Kolchanov S. S. Verification of key management cryptographic protocols with colored Petri nets 1535

Sergeyev A. S., Tretyakov O. P., Vasilyev A. E., Chernyshev Y. O. Cryptanalysis bioinspired methods of asymmetric key on the basis of composite number factorization 1544

Zakovorotniy V. L., Lukyanov V. F., Pham Dinh Tung, Pham Thu Huong Kinematic perturbations of stationary trajectories of shape-generating movements in cutting dynamic system 1555

TECHNICAL SCIENCES

Ryzhkin A. A., Burlakova V. E. On frictional electric phenomena 1564

Varavka V. N., Kudryakov O. V., Mednikov A. F. Prediction of titanium alloys erosive wear under long-term droplet-impact effect 1574

Zharov V. P. Dynamics and modeling of transport technological machines for agriculture 1586

Stepanov M. S., Dombrovskiy Y. M., Kornilov Y. A. Comparative analysis of acceleration methods for surface alloying in powdery 1590

Varukha E. N., Sundetov M. K., Morozkin I. S. Initial arc ignition control in gas-shielded welding 1594

Brover A. V., Brover G. I. On recrystallization behaviour in high-speed steels under pulsed laser illumination 1601

Korobtsov A. S. Human resource in quality management system of welded products 1611

Polushkin O. O., Polushkin O. A. Dynamic simulation and flexible rotor balancing in n^{th} bend shape 1621

Lukyanov V. F., Rogozin D. V., Gritsykhin V. A. Offshore drilling and oil production platform metalwork repair 1630

Rogov I. E., Lavrentyev A. A., Anisimov S. D. Combination oscillations application for accuracy increase of steel product nondestructive testing 1637

Rubanov V. V., Kolotienko S. D. Filler wear test facility under rolling friction 1646

Rybak A. T., Zharov V. P., Ustyantsev M. V., Yefimenko A. G. Study on regenerative hydromechanical testing system of positive-displacement hydraulic machines 1651

HUMANITIES

Murugova E. V. Field approach in the parts of speech interaction 1662

Yaremenko S. N., Bondarenko T. A., Kurova E. G. Social types in transitive society 1667

Takhtamyshev V. G. Social philosophy as theoretical grounds of ideology 1676

Tazayan A. B., Astvatsaturov A. Y. On some antinomy of evolutionary epistemology concept... 1681

Shtompel L. A. Individualization of social agent's time in modern society and culture 1688

SOCIOECONOMIC AND SOCIAL SCIENCES

Strelchenko V. S., Boguslavskiy I. V. Iterative probabilistic solution method of intersectoral balance linear equation 1695

Simonyan T. V., Dashchinskiy D. B. Industrial engineering techniques and toolkit on basis of communication process scheduling 1700

Flek M. B., Verchenko Y. K. Concept, possibilities and limitations of synergetic method in company management 1710

Ovanesyan N. M., Midler E. A. Risk management at the industrial enterprise using business insurance mechanism 1719

Chekmareva G. I., Flek M. B., Nedorub A. S. Work features of industrial enterprise 'auxiliary production' subsystem 1726

Index 1739

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.414.023

Верификация криптографических протоколов распределения ключей с использованием раскрашенных сетей Петри

Н. С. Могилевская, С. С. Колчанов
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрена и оценена возможность применения раскрашенных сетей Петри для анализа криптографических протоколов распределения ключей на примере симметричного протокола Нидхема — Шрёдера.
Ключевые слова: *верификация протокола, формальный анализ, распределение ключей, протокол Нидхема — Шрёдера, раскрашенные сети Петри, CPN Tools.*

Введение. Одной из наиболее важных задач, которые необходимо решать при организации защиты информационной системы с помощью криптографических алгоритмов, является задача управления ключами. Очевидно, что как бы ни была сложна и разумно устроена криптосистема, некорректное обращение с ключами может значительно понизить уровень её защищённости. Под управлением ключами принято понимать информационный процесс, включающий в себя четыре основных элемента: генерацию ключей, накопление ключей, распределение ключей, процедуру их ввода и синхронизации [1, 2]. Наиболее распространённым решением задачи распределения ключей является использование специализированных криптографических протоколов.

Фактически криптографический протокол — это распределённый алгоритм, определяющий последовательность шагов, точно специфицирующих действия, которые требуются от участников для решения некоторой криптографической задачи, например, обеспечение целостности, секретности, аутентичности информации [2, 3, 4]. При анализе качества протокола необходимо обратить внимание не только на достижение желаемого результата всеми участниками протокола, но и на недопустимость проведения атак на протокол злоумышленниками. Отметим, что при анализе протокола используемые в нём криптографические алгоритмы и примитивы считаются надёжными, а анализу подвергаются сообщения, которыми обмениваются участники протокола, а именно их содержимое и порядок следования. Формальный анализ и выявление недостатков криптографических протоколов на деле оказывается весьма затруднительным. Известны факты, когда протоколы даже с небольшим количеством сообщений долгое время скрывали свои уязвимости [2, 4, 5].

Существует ряд математических аппаратов, используемых для решения задачи формального анализа протокола, например, модальные логики, конечные автоматы, спецификационные языки [2, 4, 6]. Эти подходы достаточно новые, каждый из них имеет как достоинства, так и недостатки. В обзорных работах по формальным методам анализа протоколов часто упоминается возможность верификации протоколов на основе моделирования сетями Петри, однако, исследований, посвящённых именно этому вопросу, достаточно мало, например [4, 6, 7, 8].

Цель работы. Рассмотреть и оценить возможность применения сетей Петри к верификации криптографических протоколов распределения ключей. Для достижения цели в работе с помощью раскрашенных сетей Петри для ряда криптографических протоколов построены модели. По итогам исследования моделей сделаны выводы о возможности верификации криптографических

протоколов распределения ключей с использованием раскрашенных сетей Петри. В работе исследован ряд протоколов, однако наиболее подробно рассмотрена модель выработки сеансового ключа симметричного протокола Нидхема — Шрёдера.

Протокол Нидхема — Шрёдера. Этот протокол хорошо изучен. Он получил широкую известность, так как долгое время скрывал свою уязвимость в обеспечении безопасности [2, 5]. Целью данного протокола является выработка общего сеансового ключа K_{AB} для участников протокола A и B с использованием доверенного посредника S. Говоря о доверенном посреднике для выработки ключей, мы считаем, что участники A и B уже имеют долговременные ключи для общения с ним, а кроме этого, доверяют S вырабатывать ключ для связи между участниками. Запишем протокол в виде схемы обмена сообщениями.

1. $A \rightarrow S : A, B, N_A$.
2. $S \rightarrow A : \{N_A, B, K_{AB}, \{K_{AB}, A\}_{K_{BS}}\}_{K_{AS}}$.
3. $A \rightarrow B : \{K_{AB}, A\}_{K_{BS}}$.
4. $B \rightarrow A : \{N_B\}_{K_{AB}}$.
5. $A \rightarrow B : \{N_B - 1\}_{K_{AB}}$.

Здесь A, B, S — участники протокола; N_A, N_B — уникальные числовые вставки (нонсы), используемые только в одном сеансе связи; K_{AS}, K_{BS}, K_{AB} — ключи для обмена сообщениями между участниками A и S, B и S, A и B, соответственно; запись типа $\{X\}_K$ означает шифрограмму от X на ключе K; запись типа $A \rightarrow S$: X_1, X_2 означает, что участник A отправляет S сообщения X_1, X_2. Считается, что до начала протокола у участников есть договорённость об используемых криптографических алгоритмах и о порядке следования элементов в сообщениях.

Прокомментируем шаги протокола. На первом шаге пользователь A сообщает доверенному серверу S, что он намерен получить ключ для переписки с B. Во втором сообщении S генерирует ключ K_{AB} и посылает его A, в сообщении содержится также цифровая вставка N_A, по которой А узнаёт, что он получил сообщение сервера на свой запрос. На следующем шаге A отправляет B ключ K_{AB}, зашифрованный на ключе K_{BS}. Участник B доверяет этому посланию, так как оно зашифровано на ключе доверенного сервера S, а имя A, указанное в этом сообщении, говорит B, что ключ K_{AB} предназначен для общения с A. Участник B на 4-м шаге должен проверить, что отправитель сообщения $\{K_{AB}, A\}_{K_{BS}}$ действительно является A и этот участник намерен установить защищённый обмен сообщениями. Для этого он отправляет A свой нонс в зашифрованном виде. В последнем сообщении, чтобы убедить партнёра B в своей дееспособности, инициатор переговоров шифрует простое выражение, зависящее от N_B, и отправляет его A. Если все шаги протокола выполнены, то участники считают, что у них есть надёжный сеансовый ключ K_{AB}.

Процедура с использованием нонсов N_A, N_B и $N_B - 1$ служит для подтверждения участниками факта новизны, или, как принято говорить, свежести сеансового ключа K_{AB}, т. е. для подтверждения того, что указанный ключ был впервые использован в данном сеансе связи и не использовался ранее для связи этих двух участников. Основным недостатком рассмотренного протокола является то, что B не уверен в свежести ключа K_{AB}, полученного на третьем шаге. Таким образом, злоумышленник M может записать сообщения прошлых сеансов протокола и впоследствии использовать их для атаки на протокол [5].

Опишем схему протокола Нидхема — Шрёдера с атакующим злоумышленником.

1. $A \rightarrow S : A, B, N_A$.
2. $S \rightarrow A : \{N_A, B, K_{AB}, \{K_{AB}, A\}_{K_{BS}}\}_{K_{AS}}$.

3. $M \to B : \{K_{AB}, A\}_{K_{BS}}$.
4. $B \to A : \{N_B\}_{K_{AB}}$.
5. $M \to A : \{N_B\}_{K'_{AB}}$.
6. $A \to B : \{N_B - 1\}_{K_{AB}}$.
7. $M \to B : \{N_B\}_{K'_{AB}}$.

На третьем шаге M отправляет старое сообщение от имени A, на четвёртом перехватывает сообщение и заменяет его на пятом шаге. Таким образом, M подменяет сообщения, адресованные B, а B верит в то, что он совместно с A в реальном времени вырабатывает новый сессионный ключ K_{AB}.

Раскрашенные сети Петри. Сети Петри — это весьма востребованный математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Сеть Петри может быть задана как алгебраически, так и графически. С точки зрения алгебры, сеть Петри задаётся кортежем следующего вида $C = (P, T, I, O, \mu)$, где P, T — конечные множества позиций (состояний сети) и переходов (событий сети), I, O — множества входных и выходных функций, μ — вектор натуральных чисел, определяющий маркировку сети. Графически сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам — вершины, изображаемые чёрточками или прямоугольниками; функциям I соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям O — дуги, направленные от переходов к позициям. Дугами могут соединяться только вершины различных типов. Для описания динамики процессов, реализуемых в сети Петри, дополнительно вводится понятие фишки. Размещение фишек по позициям сети называется маркировкой μ. Перемещения фишек по сети представляют собой совокупность срабатываний переходов и отображают смену дискретных состояний моделируемой системы. Срабатывание перехода возможно, если имеется соответствующее переходу событие (т. н. предусловие). Выполнение события представляется фишкой в позиции, соответствующей этому условию. При запуске (срабатывании) перехода из входных позиций (предусловий) фишки удаляются, а в выходных позициях (постусловиях) — появляются. В раскрашенных сетях фишки являются элементами некоторого абстрактного типа данных, традиционно называемого цветом. Подробное описание сетей Петри хорошо представлено, например, в [9].

Идея построения моделей криптографических протоколов на основе раскрашенной сети Петри. Для построения сети Петри, отражающей работу протокола, выделим два типа объектов в моделируемом протоколе, а именно состояния и события. Под состояниями будем понимать такие сущности, как ключ, нонс, сообщение, т. е. объекты, состояние которых можно охарактеризовать одним из двух значений, например, 1 — состояние реализуется, 0 — нет. Под событиями в модели будем понимать нечто, происходящее практически мгновенно, например, отправка или получение, зашифровывание или расшифровывание сообщения. Выделенные состояния используем в качестве позиций сети, а события в модели будут представлены переходами.

Каждому участнику протокола соответствует часть построенной сети, содержащая позиции и переходы, связанные с ключами этого участника и сообщениями, которые он отправляет другим участникам. Части сети, соответствующие различным участникам протокола, между собой не пересекаются. Отметим также, что одной сущности в протоколе может соответствовать несколько позиций в сети. Как правило, эти позиции относятся к разным участникам протокола. Например, секретный ключ двух участников протокола представлен позицией у каждого из уча-

стников, а также, в зависимости от протокола, он может быть представлен дополнительно в канале связи.

Как и во всех моделях, построенных на основе сетей Петри, наличие и значение сущности в позиции определяется фишкой, а движение фишек по сети является предметом анализа сети. Для движения фишек необходимо срабатывание переходов, которое, как и наступление событий в реальной системе, определяет ход работы протокола.

В сеть может быть добавлена позиция, обозначающая успешное завершение работы протокола. Фишка в эту позицию попадает, например, если легальные участники протокола получают общий сессионный ключ. Тогда, анализируя свойство достижимости сети, при которой в этой позиции окажется нужная фишка, можно определить, приведёт ли протокол к заданной цели, а также выяснить, наступление каких событий может этому помешать.

Для проведения анализа модели криптографического протокола необходимо либо построить дерево достижимости; либо многократно запускать работу сети с различным порядком срабатывания переходов, перебирая все возможные варианты, и при этом отслеживать основные характеристики сети; либо использовать матричную теорию сетей Петри для отслеживания возможных маркировок сети [9]. Далее в работе будем использовать многократный запуск сети с помощью автоматизированных инструментов.

```
▼Declarations
  ▶Standard priorities
  ▼Standard declarations
    ▶colset UNIT
    ▼colset INT = int;
    ▶colset BOOL
    ▶colset STRING
  ▼User declarations
    ▼colset PS=string with "a".."z" and 3..3;
    ▼var Kab: PS;
    ▼var Nb_Kab, Nb1_Kab: STRING;
    ▼fun F(a)=a^"-1";
    ▼var i: INT;
    ▼var M2: STRING;
    ▼var Kas, Kbs, Kab_Kbs: STRING;
    ▼var Na, Nb, Nb1, Nb2: STRING;
```

Рис. 1. Описание переменных в терминах языка программирования CPN ML

Программный комплекс CPN Tools. Чем больше позиций и переходов содержит сеть Петри, тем сложнее её корректное построение и анализ. Для анализа моделей криптографических протоколов распределения ключей в работе использован программный комплекс CPN Tools [10], разрабатываемый группой AIS Эйндховенского университета технологий (Нидерланды) (Eindhoven University of Technology, The Netherlands). Раскрашенные сети Петри моделирующей системы CPN Tools представляют собой комбинацию графа сети Петри и языка программирования CPN ML, используемого для описания типов элементов сети. CPN Tools обладает средствами для наглядного и удобного построения и исполнения сетей Петри, обеспечивает проверку структуры конструируемых сетей, быстрое их исполнение, проведение полного или частичного анализа пространственных состояний, автоматическую проверку живости и связности. Важными характеристиками CPN Tools являются его свободное распространение, мультиплатформенность, качественная техническая поддержка и доступность документации справочного характера.

Модель протокола Нидхема — Шрёдера на основе раскрашенной сети Петри. Опишем разработанную модель подробнее. На рисунке 1 с использование языка CPN ML представлена часть описания модели, построенной в системе CPN Tools. Специальный тип данных PS был задан для описания ключей. Далее в переменных этого типа методом ran() языка CPN ML будут генерироваться случайные значения — аналоги случайных ключей. Строки описания, начинающиеся со служебного слова var, задают переменные. Описание назначения, начального значения, а также указание участников, к которым относятся эти переменные, представлены в таблице 1.

Описание переходов, используемых в построенной модели, находится в таблице 2. В левом столбце указаны названия переходов, а в правом — описания связанных с каждым из них событий. Отметим, что, так как средствами CPN ML нельзя описать алгоритм шифрования, то для имитации шифрования в работе использована конкатенация строк сообщения и ключа.

Таблица 1

Описание фишек-переменных построенной модели

Переменная	Нач. значение	Назначение	Переменная	Нач. значение	Назначение
Участник *A*			Участник *B*		
N_A	«1»	Нонс *A*	K_{BS}	«kbs»	Общий ключ *B* и *S*
K_{AS}	«kas»	Общий ключ *A* и *S*	K_{AB}	—	Сеансовый ключ
K_{AB}	—	Сеансовый ключ	N_B	«2»	Нонс *B*
N_B	—	Нонс *B*	N_{B2}	—	Нонс, полученный от *A*, после обратной операции
N_{B1}	—	Обработанный нонс *B*	N_{B1}	—	Нонс, полученный от *A*
Участник *S*			Дополнительные переменные		
K_{BS}	«kbs»	Общий ключ *B* и *S*	M_2	Канал связи между *A* и *S*	
K_{AS}	«kas»	Общий ключ *A* и *S*	$K_{AB}_K_{BS}$, $N_B_K_{AB}$, $N_{B1}_K_{AB}$	Канал связи между *A* и *B*. Имя переменной совпадает с именем фишки, для которой она предназначена.	
K_{AB}	—	Сеансовый ключ	*Final!*	Конечная позиция. Содержит true в случае успешного выполнения протокола, иначе — false.	
N_A	—	Нонс *A*			

Таблица 2

Описание переходов построенной модели

Название перехода	Описание действия
T1	При появлении фишки-нонса N_A у участника *A* генерирует новый сеансовый ключ K_{AB} как случайное значение типа *PS* и сохраняет нонс для дальнейшего использования.
T2	Используя K_{BS}, шифрует сеансовый ключ K_{AB}.
T3	Собирает в одно сообщение N_A, $\{K_{AB}\}_{K_{BS}}$, K_{AB}, шифрует это сообщение ключом K_{AS} и отправляет сообщение в канал связи.
T4	Отправляет N_A к участнику *S* (инициирует работу всего протокола).
T5	Расшифровывает сообщение, извлекает из него N_A, K_{AB}, сеансовый ключ, зашифрованный ключом участника *B*, $K_{AB}_K_{BS}$. Сохраняет K_{AB} в позиции K_{AB}, относящейся к *A*. $K_{AB}_K_{BS}$ отправляет в канал связи с *B*.
T6	Срабатывает при получении от *B* нонса, зашифрованного сеансовым ключом. Используя сеансовый ключ из позиции *A*, расшифровывает нонс участника *B* и сохраняет его для дальнейшего использования.
T7	Получает обработанный нонс N_{B1} участника *B* и сеансовый ключ K_{AB}. Шифрует N_{B1} ключом K_{AB} и передаёт в канал связи.
T8	Принимает переменную-нонс N_B, сохраняет результат вычисления функции *F* (см. рис. 1) от значения нонса.
T9	Срабатывает при появлении в канале связи сообщения от *A*. Расшифровывает сообщение с помощью общего ключа *B* и *S* и сохраняет сеансовый ключ.
T10	Выполняет действия, обратные действиям перехода T8 с входящей фишкой и сохраняет результат.
T11	Финальный переход. Получает исходный нонс участника *B*, и нонс, полученный после обработки *A*. Отправляет в позицию *Final!* фишку true, если нонсы равны, иначе отправляет фишку false.
T12	Расшифровывает сообщение от *A* сеансовым ключом K_{AB} и сохраняет результат.
T13	Шифрует нонс участника *B* сеансовым ключом и отправляет его в канал связи.

Граф модели Петри рассматриваемого протокола, построенной в системе CPN Tools, представлен на рисунке 2. Из теории известно, что граф сети Петри задаёт алгебраическую

структуру сети однозначно и наоборот, поэтому выписывать алгебраическую структуру в явном виде не будем, чтобы не загромождать текст повтором.

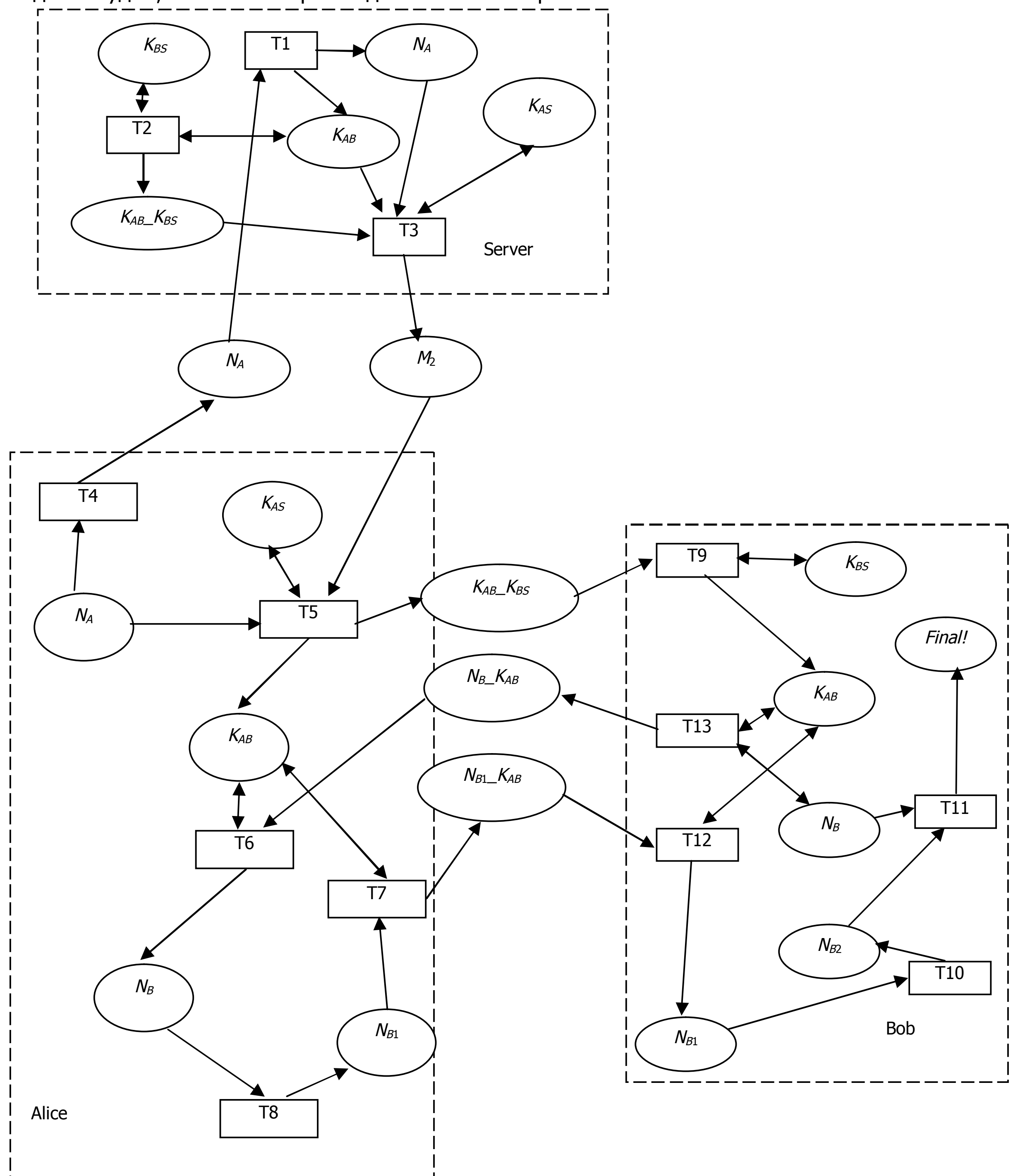


Рис. 2. Сеть Петри, моделирующая работу протокола Нидхема — Шрёдера

На графе пунктиром выделены части сети, относящиеся к различным участникам. Позиции, не вошедшие ни в какое выделение, относятся к каналу связи. Очевидно, что для построения модели злоумышленника, действующего в канале связи, необходимо «привязывать» его работу именно к этим позициям.

Результаты анализа работы модели протокола Нидхема — Шрёдера. Желаемая конечная разметка с фишкой true в позиции *Final!* и одинаковыми фишками — сеансовыми ключами в позициях K_{AB} у Алисы и Боба достигается при всех возможных вариантах последовательности срабатывания переходов, следовательно, цели протокола по результатам его исполнения достигаются. Сеть не имеет тупиковых разметок и неустойчивых переходов, следовательно, в реальной информационной системе протокол будет работать устойчиво. Во время выполнения протокола не возникает зацикливаний, количество фишек ни в одной из позиций не разрастается, следовательно, в технической реализации протокола могут быть наложены ограничения на объём памяти. Однако известная слабость протокола, связанная с возможностью использования старых сеансовых ключей, в данной модели никак себя не обнаруживает.

Результаты исследования моделей для других протоколов. В ходе данного исследования кроме модели протокола Нидхема — Шрёдера были построены модели протоколов Диффи — Хеллмана, Station-to-station и широкоротой лягушки. Модель протоколов Диффи — Хеллмана и Station-to-station выработки общего ключа, как и модель протокола Нидхема — Шрёдера, не показывает возможность реализации атаки типа «человек посередине». Однако, зная о возможности этой атаки, авторы сумели построить модели этих протоколов с учётом работы злоумышленника в сети. Полученные модели подтвердили возможность реализации такой атаки. Модель протокола широкоротой лягушки показала слабость протокола, связанную с отсутствием подтверждения получения ключа вторым участником протокола. Таким образом, в результате случайного или преднамеренного искажения ключа в канале связи между участником *A* и доверенным сервером *S* или между *S* и *B* возможна ситуация, когда участники *A* и *B* пользуются различными ключами и, как следствие, не могут читать сообщения друг друга.

Выводы по проведённым модельным экспериментам. Подведём итоги анализа моделей криптографических протоколов распространения ключей на основе сетей Петри.

К несомненным достоинствам использования сетей Петри относится их широкая распространённость. В связи с этим существует много работ, посвящённых развитию и анализу сетей, а также существуют легко доступные качественные программные средства, часто свободно распространяемые, позволяющие анализировать сети Петри в автоматическом режиме, например использованный в работе комплекс CPN Tools.

Анализ модели протокола, построенной в виде сети Петри, позволяет сделать ряд выводов, касающихся технической стороны реализации протокола. Так, достижимость финальной разметки показывает возможность достижения сетью желаемых результатов. Анализ безопасности и консервативности сети позволяет сделать вывод о возможности введения ограничений на технические средства в реальной информационной системе, например на ёмкость памяти. Рассмотрение уровня активности переходов сети позволяет выявить избыточные переходы, ситуацию взаимной блокировки в моделируемой системе, а также переходы, срабатывание которых ничем не ограничено, а, следовательно, они могут отправлять необоснованно большое количество данных в канал связи.

Сети Петри позволяют оценить возможности мошенничества легальных пользователей или работы злоумышленников в случае, когда модель криптографического протокола соединяется с моделью злоумышленника. Эта проблема исследуется в [7].

Часто исследователи к достоинствам моделей на основе сетей Петри относят их наглядность. Однако, на наш взгляд, это весьма спорное мнение, и чем больше элементов в протоколе, тем более объёмным и запутанным становится граф сети Петри.

Укажем недостатки верификации протоколов с помощью сетей. Так, при использовании сетей Петри строго не определён процесс специфицирования, то есть процесс построения графа сети по протоколу. Фактически сеть, моделирующую работу протокола и действующего в

ней злоумышленника, исследователю протокола необходимо создать вручную, что не позволяет полностью автоматизировать процесс и чревато ошибками реализации. Однако отметим, что это замечание справедливо для всех известных авторам методов математического исследования криптографических протоколов.

Модель криптографического протокола, построенная с помощью сети Петри, сама по себе малоинформативна с точки зрения возможностей злоумышленников, а также знаний и доверий легальных участников протокола и не обнаруживает многих уязвимостей. Таким образом, формальный анализ уязвимостей невозможен, допустимо лишь проверить на модели степень опасности уязвимости, найденной другим способом.

Заключение. В работе построены модели симметричных протоколов распределения ключей Нидхема — Шрёдера, Диффи — Хеллмана и широкоротой лягушки.

Результаты работы показали, что сети Петри не могут быть основным или единственным инструментом для проведения верификации криптографических протоколов. Они могут быть использованы лишь во вспомогательных целях. Во-первых, сети Петри можно применять для доказательства возможных атак и их демонстрации, во-вторых, для определения достижимости конечной маркировки, т. е. подтверждения, достигает ли протокол своей цели, в-третьих, для оценки возможности введения ограничений на технические средства в реальной информационной системе, где используется исследуемый протокол. И, наконец, для исследования возможности возникновения в протоколе «тупиков», т. е. ситуаций, когда действия участников недостаточно полно специфицированы.

Однако представляется целесообразным построение сетями Петри моделей узкого класса криптографических протоколов, в которых для подтверждения свежести ключа кроме нонсов используются и метки времени. Такая техника используется, например, в протоколах Керберос, DASS, Ньюмана — Стабблбайна [2]. Метка времени может указывать либо на время действия сеансового ключа, либо на время жизни нонса. В таком случае для моделирования нужно использовать временные сети Петри, которые отличаются от простых сетей Петри учётом времени, что позволяет моделировать не только последовательность событий, но и их привязку ко времени. Это осуществляется приданием переходам веса — продолжительности (задержки) срабатывания. Модели протоколов распределения ключей, построенные таким образом, позволят оценить безопасный диапазон времени действия ключей и нонсов.

Библиографический список

1. Основы криптографии / А. П. Алфёров [и др.]. — Москва: Гелиос АРВ, 2005. — 480 с.

2. Denning, D. E. Time stamps in Key Distribution Protocols / D. E. Denning, M. Smid // Communications of the ACM. — 1981. — V. 24. — P. 533—536.

3. Котенко, И. В. Верификация протоколов безопасности на основе комбинированного использования существующих методов и средств / И. В. Котенко, С. А. Резник, А. В. Шоров // Труды СПИИРАН. — 2009. — Вып. 8. — С. 292—310.

4. Могилевская, Н. С. Сравнение возможностей сетей Петри и BAN-логики в анализе криптографических протоколов проверки подлинности и обмена ключами / Н. С. Могилевская, С. С. Колчанов // Системный анализ, управление и обработка информации. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. С. 98—101.

5. Смарт, Н. Криптография / Н. Смарт. — Москва: Техносфера, 2006. — 528 с.

6. Lin, H. Algorithms for Cryptographic Protocol Verification in Presence of Algebraic Properties: diss. for the degree of Doctor of Philosophy (Mathematics). — Clarkson University, 2009.

7. Nieh, B. Modeling and analyzing cryptographic protocols using Petri nets / B. Nieh, S. Tavares // Auscrypt'92, 1992.

8. Salah, A. Protocol verification and analysis using colored Petri nets / A. Salah, M. Khaled. — Cairo University, 2003. — P. 3—7.

9. Котов, В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. — Москва: Наука, 1984. — 160 с.

10. CPN Tools Homepage. Documentation. Electronic resource. Access mode: http://cpntools.org/documentation/start/ (date of access: 11.04.2011).

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

References

1. Osnovy` kriptografii / A. P. Alfyorov [i dr.]. — Moskva: Gelios ARV, 2005. — 480 s. — In Russian.

2. Denning, D. E. Time stamps in Key Distribution Protocols / D. E. Denning, M. Smid // Communications of the ACM. — 1981. — V. 24. — P. 533—536.

3. Kotenko, I. V. Verifikaciya protokolov bezopasnosti na osnove kombinirovannogo ispol`zovaniya sushhestvuyushhix metodov i sredstv / I. V. Kotenko, S. A. Reznik, A. V. Shorov // Trudy` SPIIRAN. — 2009. — Vy`p. 8. — S. 292—310. — In Russian.

4. Mogilevskaya, N. S. Sravnenie vozmozhnostej setej Petri i BAN-logiki v analize kriptograficheskix protokolov proverki podlinnosti i obmena klyuchami / N. S. Mogilevskaya, S. S. Kolchanov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. S. 98—101. — In Russian.

5. Smart, N. Kriptografiya / N. Smart. — Moskva: Texnosfera, 2006. — 528 s. — In Russian.

6. Lin, H. Algorithms for Cryptographic Protocol Verification in Presence of Algebraic Properties: diss. for the degree of Doctor of Philosophy (Mathematics). — Clarkson University, 2009.

7. Nieh, B. Modeling and analyzing cryptographic protocols using Petri nets / B. Nieh, S. Tavares // Auscrypt'92, 1992.

8. Salah, A. Protocol verification and analysis using colored Petri nets / A. Salah, M. Khaled. — Cairo University, 2003. — P. 3—7.

9. Kotov, V. E. Seti Petri / V. E. Kotov. — Moskva: Nauka, 1984. — 160 s. — In Russian.

10. CPN Tools Homepage. Documentation. Electronic resource. Access mode: http://cpntools.org/documentation/start/ (date of access: 11.04.2011).

VERIFICATION OF KEY MANAGEMENT CRYPTOGRAPHIC PROTOCOLS WITH COLORED PETRI NETS

N. S. Mogilevskaya, S. S. Kolchanov
(Don State Technical University)

The possibility of using colored Petri nets for the analysis of key distribution cryptographic protocols as an example of symmetric Needham—Schroeder protocol is reviewed and evaluated.

Keywords: *protocol verification, formal analysis, key management, Needham—Schroeder protocol, colored Petri nets, CPN Tools.*

УДК 004.056.55

Биоинспирированные методы криптоанализа асимметричных алгоритмов шифрования на основе факторизации составных чисел

А. С. Сергеев
(Донской государственный технический университет),
О. П. Третьяков, А. Е. Васильев
(филиал Военной академии связи),
Ю. О. Чернышёв
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается возможность применения биоинспирированных методов для решения задачи криптоанализа асимметричных алгоритмов шифрования на основе факторизации составных чисел. Представлены алгоритмы муравьиных и пчелиных колоний для разложения составных чисел на множители путём определения делителя числа с заданной точностью в заданном интервале. Описаны отличительные особенности представленных методов, в том числе возможность эффективной параллельной реализации.
Ключевые слова: *криптоанализ, пчелиный алгоритм, муравьиный алгоритм, феромон, факторизация числа, асимметричные криптосистемы, биоинспирированные методы.*

Введение. В настоящее время в науке и технике находят широкое применение алгоритмы, основанные на природных системах. Это новое научное направление под названием «природные вычисления» объединяет математические методы, в которых заложен принцип природных механизмов принятия решений. К ним относятся методы моделирования отжига, генетические, эволюционные методы, алгоритмы роевого интеллекта и др. [1].

Однако, как отмечено в [2], недостатком эволюционных методов является использование «слепого» поиска, что в общем случае приводит к следующим проблемам: генерация решений с нарушениями и, как следствие, увеличение времени поиска и необходимость дополнительного контроля; генерация большого количества одинаковых решений; генерация большого количества плохо приспособленных решений, что в общем случае может привести к попаданию в локальный оптимум. Поэтому представляет интерес применение эвристических методов, инспирированных природными системами, в которых осуществляется поэтапное построение решения задачи (т. е. добавление нового оптимального частичного решения к уже построенному частичному оптимальному решению). К методам данного вида относят муравьиные и пчелиные алгоритмы, основные идеи и принципы которых описаны, например, в [1]. Известны случаи применения алгоритмов роевого интеллекта для оптимизации широкого круга задач, в том числе в криптоанализе. Вместе с тем следует заметить, что наряду с классическими симметричными алгоритмами шифрования в настоящее время используются методы асимметричной криптографии — сравнительно молодой области науки. Один из её первых алгоритмов — RSA [3, 4], сложность которого определяется трудностью факторизации больших чисел. Как отмечено в [5], факторизация (задача разложения числа на простые множители) — одна из основных теоретико-числовых задач, используемых в криптографии.

Постановка задачи криптоанализа асимметричных криптосистем. Как отмечено в [6], во всех асимметричных криптосистемах (в т. ч. RSA) используются два ключа: один для шифрования ($K_{откр}$), другой для дешифрования ($K_{секр}$). Ключи представляют собой пары ($K_{откр}$, N), ($K_{секр}$, N), где N — модуль, при этом $N = P \cdot Q$, где P и Q — случайные большие простые числа. При этом возможны несколько вариантов криптоанализа:

1. На основе известного открытого текста и шифртекста подобрать такой секретный ключ $K_{секр}$, чтобы выполнялось равенство $M_i = C_i^{K_{секр}}(\mathrm{mod}\ N)$, где M_i — открытый текст, C_i — шифртекст.

2. Опытным путём определить функцию Эйлера $\varphi(N) = (P - 1)(Q - 1)$, разложив модуль N на множители P и Q, и секретный ключ $K_{секр}$ из соотношения $K_{секр} \cdot K_{откр} = 1(\mathrm{mod}\ \varphi(N))$.

3. Подобрать такие числа P и Q, чтобы выполнялось соотношение $N = P \cdot Q$.

Поскольку в варианте 1 нахождение секретного ключа $K_{секр}$ имеет комбинаторную сложность (в общем случае может потребоваться полный перебор), как и в варианте 2 (требуется полный перебор всех взаимно простых чисел в интервале $[1, \varphi(N)]$, то актуальна задача исследования возможности применения современных технологий природных алгоритмов для определения всех возможных делителей составного числа N.

Отметим, что ранее в [7] был представлен генетический алгоритм (ГА) для решения задачи определения вариантов разложения заданного числа N на множители. Однако при реализации данного алгоритма основной также является задача определения числа *Val*, являющегося делителем числа N. Для решения этой задачи в [7, 8] предлагается алгоритм, сущность которого заключается в определении на отрезке $[0, N]$ методом генетического поиска точки R, удовлетворяющей условиям $(N - R) / R = n$ — целое (т. е. $(N - R) / R - [(N - R) / R] = 0$),

$$R \cdot (n + 1) = N, \qquad (1)$$

где $[x]$ — целая часть числа x, или множества точек $R, R_1, R_2, \ldots, R_k$, удовлетворяющих условиям $R_1 / R = n_1$, $(R_2 - R_1) / R = n_2$, $(R_3 - R_2) / R = n_3$, …, $(R_k - R_{k-1}) / R = n_k$, $R \times \times (n_1 + n_2 + \ldots + n_k) = N$, где R, n_k — целые числа. Очевидно, что выражение (1) может быть использовано в качестве целевой функции в ГА.

Однако основной проблемой при реализации данного ГА является нахождение экстремума немонотонной функции, т. е. функции, значение $f(x)$ которой в каждой точке x является, по сути, случайной величиной и не даёт информации о приближении к глобальному экстремуму. Таким образом, при нахождении экстремума функции $f(R) = (N - R) / R - [(N - R) / R]$ (т. е. значения R, для которого $f(R) = ((N - R) / R - [(N - R) / R] = 0)$) с использованием структуры ГА фактически имеет место «слепой» поиск, и, как отмечено в [2], это является основным недостатком большинства структур ГА.

На основе логарифмического закона распределения простых чисел [9] в работе [6] описана модель ГА для нахождения разложения составного числа N на 2 простых множителя. В данной модели на отрезке $[0, N]$ осуществляется генерация популяции простых чисел. Случайным выбором битов генерируется случайное n-битовое число G. Далее на отрезке $[G - \ln(G), G + \ln(G)]$ осуществляется поиск наиболее вероятного простого числа. Каждое $x \in [G - \ln(G), G + \ln(G)]$ последовательно проверяется на делимость с простыми числами в интервале $[3, 2 \cdot \ln(G)]$. Так как реальное значение G составляет порядка $G \approx 2^{512}$, то радиус поиска представляется как $r = \ln G = \log_2 G / \log_2 e = \log_2 G / 1{,}442695 = n / 1{,}442695$.

Далее к полученной популяции простых чисел применяется множество генетических операций для получения простых чисел-потомков. Для этого используется описанная методика поиска наиболее вероятного простого числа в окрестности декодированного числа. Однако, учитывая реальную размерность задачи (как отмечено в [3, 6], разработчикам криптоалгоритмов на базе RSA приходится применять числа длиной не менее 200 десятичных знаков, на данный момент криптостойким считается ключ размерностью 2^{1024}), этот алгоритм может потребовать значительных временных ресурсов (при операции формирования большой популяции простых чисел и их получении при проведении генетических операций) и оказаться достаточно трудоёмким при практической реализации. Отметим также, что при использовании известных технологий распараллеливания ГА (например, «островной» модели), описанных, в частности, в [8, 10], необходимо организовать межпроцессорные связи между «островами» (группами процессоров, моделирующих

развитие популяции), чтобы предотвратить потери хороших решений и попадание в локальный оптимум. Как отмечено в [10], частота миграции является наиболее существенным фактором и должна быть установлена на основе экспериментальных результатов, что также может потребовать временных ресурсов и снизить эффективность работы ГА.

Поэтому представляет несомненную актуальность разработка новых методов, использующих модели процессов живой природы и ликвидирующих отмеченные недостатки ГА путём отмеченного выше поэтапного построения оптимальных решений. Рассмотрим возможный подход для решения задачи разложения составного числа на простые сомножители с помощью другого класса биоинспирированных методов — алгоритмов муравьиных и пчелиных колоний.

Разработка метода муравьиных колоний для факторизации составных чисел. Основные положения теории муравьиных алгоритмов и описание их работы приводятся в [1, 11, 12, 13]. В соответствии с [1], для того, чтобы построить подходящий муравьиный алгоритм для решения задачи, необходимо представить задачу как набор компонент и переходов или как набор неориентированных взвешенных графов, на которых муравьи могут строить решения. Поэтому рассмотрим возможный подход для сведения задачи разложения составного числа на множители к задаче нахождения кратчайшего пути в графе. Пусть задано достаточно большое число N, которое необходимо проверить на простоту и определить его делители на отрезке $[n_i, n_j]$ с заданной степенью точности, т. е. найти такие числа x_i, для которых $((N / x_i) - [N / x_i]) \to \min$. Пусть числа $x_k \in [n_i, n_j]$ содержатся в оперативной памяти одного процессора (или «острова» процессоров) и являются вершинами полного графа $G = (X, U)$, где $|X| = n_j - n_i + 1$ — множество вершин, $|U| = (n_j - n_i + 1)(n_j - n_i) / 2$ — множество рёбер, при этом вес вершины x_j равен $F(x_j) = (N / x_j) - [N / x_j]$, т. е. равен дробной части частного, полученного от деления N на x_j. Сформулируем задачу нахождения кратчайшего пути в следующей форме: найти маршрут T в графе G, содержащий заданное число m вершин, удовлетворяющий условию

$$\sum_{i=1,2,\ldots m} F(x_i) \to \min$$

Вес каждого маршрута T_k определим как (L_k, F_k), где

$$L_k = \sum_{x_i \in T_k} F(x_i), \qquad F_k = \min_{x_i \in T_k}\left(F(x_i)\right).$$

Таким образом, задачей муравьиного алгоритма в данном случае является определение маршрута, имеющего минимальный вес L_k и содержащего m вершин и вершину графа x_k, для которой $F(x_k) = (N / x_k) - [N / x_k] \to \min$, т. е. которая является наиболее точным делителем числа N. Так как цикл по времени жизни колонии продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все вершины графа G, то вершина $x_k \in [n_i, n_j]$ будет определена за число временных циклов C алгоритма не менее

$$C = \frac{n_j - n_i + 1}{m \cdot M} \qquad (2)$$

где M — размер популяции муравьёв, m — число вершин в маршруте.

Предположим, что муравьи обладают свойствами поведения (память, зрение, обоняние), описанными в [11, 12]. Так как веса вершин $F(x_j)$ априорно неизвестны и определяются в процессе работы алгоритма, то вероятность перехода муравья k из вершины x_i в x_j устанавливается на основе соотношения

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)}{\sum_{l \in J_{ik}} \tau_{il}(t)}, \qquad (3)$$

где J_{ik} — множество вершин, доступных муравью k, находящемуся в вершине i, $\tau_{ij}(t)$ — уровень феромона в момент времени t на ребре $x_i x_j$, t — параметр цикла времени жизни колонии.

После прохождения *k*-м муравьём маршрута из *m* вершин подсчитывается длина пути. Она равна сумме всех весов вершин, по которым прошёл муравей. На каждом ребре $x_i x_j$ маршрута количество отложенного феромона составляет

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = Q / L_k(t),$$

где Q — параметр порядка длины оптимального пути (определяющий уменьшение $\Delta\tau_{ij}^{k}$ с увеличением длины маршрута $L_k(t)$).

Обновление феромона производится в соответствии с выражением

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\cdot\left(\tau_{ij}(t) + \sum_{k\in F}\Delta\tau_{ij,k}(t)\right) \qquad (4)$$

где F — множество муравьёв, использовавших в маршруте ребро $x_i x_j$, ρ — интенсивность испарения (в [13] предлагается выбирать $\rho = 0{,}6$).

Отметим, что в соответствии с [12] на начальном этапе задаётся начальное расположение муравьиной колонии. В общем случае для данной задачи может быть использована стратегия «дробовика», когда ограниченное количество агентов M случайным образом размещается в вершинах графа без повторений. При такой стратегии в оптимальном случае число циклов жизни колонии C определяется выражением (2).

Итак, муравьиный алгоритм для задачи нахождения делителей числа N можно сформулировать следующим образом.

1. Задание начальных значений параметров Q, M, ρ, $t_{макс}$.

2. Определение минимальных весов рёбер на основе начальной концентрации феромона.

3. Задание оценки L^* — длина кратчайшего маршрута, оценки F^* — точность решения.

4. Цикл по времени жизни колонии: $t = 1$.

5. Размещение популяции M муравьёв в случайные вершины графа без совпадений.

6. Цикл по муравьям: $k = 1$.

7. Муравей k строит маршрут $T_k(t)$ длиной $L_k(t)$ на основе распределения вероятности по рёбрам в соответствии с формулой (3).

8. $k = k + 1$, если $k \le M$, переход к 7.

9. Проверка всех маршрутов T_k на лучшее решение по сравнению с L^* и F^*.

10. В случае, если получен маршрут $T_k(t)$ длиной $L_k(t)$, которая предпочтительнее L^*, и маршрут содержит вершину x_j, для которой $F(x_j) < F^*$, обновить L^* и F^*.

11. Цикл по рёбрам графа $i = 1$.

12. $j = 1$.

13. Обновить неминимальные следы феромона на ребре x_{ij} в соответствии с (4).

14. $j = j + 1$, если $j \le n_j - n_i + 1$, перейти к 13.

15. $i = i + 1$, если $i \le n_j - n_i$, перейти к 12.

16. $t = t + 1$, если условия остановки не выполнены, переход к 5.

17. Вывести маршрут кратчайшей длины L_k, а также вершину x, для которой $F(x)$ минимально.

Условиями остановки могут быть $t > t_{макс}$, прекращение минимизации длины маршрутов, определение вершины x, для которой $F(x) = 0$.

Таким образом, данный алгоритм позволяет определять маршрут, содержащий заданное число вершин x_i, для которых $\sum F(x_i) = \min$ (т. е. являющихся самыми точными делителями числа N на отрезке $[n_i, n_j]$), а также найти вершину x_i, для которой $F(x_i) = \min$, т. е. которая является делителем числа N с заданной степенью точности.

Рассмотрим пример. Пусть $N = 893$ и в памяти процессора (или «острова» процессоров) содержится отрезок [5, 45], т. е. в этом случае $|X| = 41$. Определим $M = 4$ (количество муравьёв),

m = 4 (число вершин в маршруте), Q = 4. Начальную концентрацию феромона при t = 0 зададим равной τ_{ij} (0) = 0,25. Для решения задачи нахождения маршрута, содержащего m вершин, и значения x, для которого $F(x)$ = min, разместим M муравьёв в случайно выбранные вершины графа, например в вершины 5, 10, 30, 39. Так как на t = 1 итерации веса рёбер одинаковы, определим случайным образом 4 маршрута.

T_1 (1): 5 — 12 — 18 — 25 L_1 (1) = 0,6 + 0,42 + 0,61 + 0,72 = 2,35
T_2 (1): 10 — 22 — 18 — 36 L_2 (1) = 0,3 + 0,59 + 0,61 + 0,81 = 2,31
T_3 (1): 30 — 25 — 17 — 40 L_3 (1) = 0,77 + 0,72 + 0,53 + 0,33 = 2,35
T_4 (1): 39 — 37 — 11 — 24 L_4 (1) = 0,90 + 0,14 + 0,18 + 0,21 = 1,43

Таким образом, на рёбрах маршрута k количество отложенного феромона после 1 итерации $\tau_{ij}^k(0) + \Delta\tau_{ij}^k = \tau_{ij}^k(0) + Q/L_k(1)$ составит:

$\tau_{ij}^1(0) + \Delta\tau_{ij}^1 = 0,25 + 1,7 = 1,95;$ $\tau_{ij}^2(0) + \Delta\tau_{ij}^2 = 0,25 + 1,73 = 1,98;$

$\tau_{ij}^3(0) + \Delta\tau_{ij}^3 = 0,25 + 1,7 = 1,95;$ $\tau_{ij}^4(0) + \Delta\tau_{ij}^4 = 0,25 + 2,8 = 3,05.$

После испарения получим следующие значения концентрации на рёбрах графа, соответствующих маршрутам: $\tau_{ij}^1(1) = 0,78;$ $\tau_{ij}^2(1) = 0,79;$ $\tau_{ij}^3(1) = 0,78;$ $\tau_{ij}^4(1) = 1,22.$ Рёбра графа после 1-й итерации будут иметь веса: $\tau_{5,12}$ (1) = $\tau_{12,18}$ (1) = $\tau_{18,25}$ (1) = $\tau_{30,25}$ (1) = $\tau_{25,17}$ (1) = $\tau_{17,40}$ (1) = = 0,78; $\tau_{10,22}$ (1) = $\tau_{22,18}$ (1) = $\tau_{18,36}$ (1) = 0,79; $\tau_{39,37}$ (1) = $\tau_{37,11}$ (1) = $\tau_{11,24}$ (1) = 1,22. При этом $F_1 = \min\limits_{x_i \in T_1(1)}(F(x_i)) = F(12) = 0,42$; F_2 = F (10) = 0,3; F_3 = F (40) = 0,33; F_4 = F (37) = 0,14; F^* = = 0,14. Для остальных рёбер веса τ_{ij} (1) = 0,25.

Перейдём к следующей итерации при t = 2. Разместим муравьёв в случайно выбранные позиции, например, в 33, 42, 44, 10, и пусть определены следующие маршруты.

T_1 (2): 33 — 27 — 37 — 11 L_1 (2) = 0,06 + 0,07 + 0,14 + 0,18 = 0,45
T_2 (2): 42 — 9 — 39 — 37 L_2 (2) = 0,26 + 0,22 + 0,90 + 0,14 = 1,52
T_3 (2): 44 — 10 — 26 — 27 L_3 (2) = 0,30 + 0,30 + 0,35 + 0,07 = 1,02
T_4 (2): 10 — 13 — 25 — 17 L_4 (2) = 0,30 + 0,69 + 0,72 + 0,53 = 2,24

Таким образом, на рёбрах маршрутов количество отложенного феромона составит:

$\Delta\tau_{ij}^1 = Q/L_1(2) = 4/0,45 = 8,89;$ $\Delta\tau_{ij}^2 = Q/L_2(2) = 4/1,52 = 2,63;$

$\Delta\tau_{ij}^3 = Q/L_3(2) = 4/1,02 = 3,92;$ $\Delta\tau_{ij}^4 = Q/L_4(2) = 4/2,24 = 1,79.$

Таким образом, после испарения феромона рёбра графа будут иметь следующие веса: $\tau_{5,12}$ (2) = $\tau_{12,18}$ (2) = $\tau_{18,25}$ (2) = $\tau_{30,25}$ (2) = $\tau_{25,17}$ (2) = $\tau_{17,40}$ (2) = 0,31; $\tau_{10,22}$ (2) = $\tau_{22,18}$ (2) = = $\tau_{18,36}$ (2) = 0,32; $\tau_{10,13}$ (2) = $\tau_{13,25}$ (2) = $\tau_{25,17}$ (2) = 0,82; $\tau_{44,10}$ (2) = $\tau_{10,26}$ (2) = $\tau_{26,27}$ (2) = 1,67; $\tau_{42,9}$ (2) = $\tau_{9,39}$ (2) = 1,15; $\tau_{39,37}$ (2) = 1,54; $\tau_{33,27}$ (2) = $\tau_{27,37}$ (2) = 3,66; $\tau_{37,11}$ (2) = 4,04; $\tau_{11,24}$ (2) = = 0,49.

После 2-й итерации F_1 = F (33) = 0,06; F_2 = F (9) = 0,22; F_3 = F (27) = 0,07; F_4 = F (10) = = 0,3, F^* = 0,06. Для остальных рёбер веса τ_{ij} (2) = 0,25.

Таким образом, данная итерация показывает, как маршрут, проходящий по вершинам с наименьшим весом, максимально обогащается феромоном.

Перейдём к итерации t = 3 и разместим муравьёв в вершинах 19, 8, 32, 10. Пусть определены следующие маршруты.

T_1 (3): 19 — 37 — 27 — 33 L_1 (3) = 0,0 + 0,14 + 0,07 + 0,06 = 0,27
T_2 (3): 8 — 13 — 10 — 22 L_2 (3) = 0,63 + 0,69 + 0,30 + 0,59 = 2,21
T_3 (3): 32 — 33 — 27 — 37 L_3 (3) = 0,91 + 0,06 + 0,07 + 0,14 = 1,18
T_4 (3): 10 — 17 — 39 — 37 L_4 (3) = 0,30 + 0,53 + 0,90 + 0,14 = 1,87

Таким образом, после 3-й итерации количество отложенного феромона на рёбрах, входящих в маршруты, составит

$\Delta\tau_{ij}^{1} = Q/L_1(3) = 4/0,27 = 14,81;$ $\Delta\tau_{ij}^{2} = Q/L_2(3) = 4/2,21 = 1,80;$

$\Delta\tau_{ij}^{3} = Q/L_3(3) = 4/1,18 = 3,39;$ $\Delta\tau_{ij}^{4} = Q/L_4(3) = 4/1,87 = 2,14.$

Таким образом, после испарения феромона рёбра графа будут иметь следующие веса: $\tau_{5,12}$ (3) = $\tau_{12,18}$ (3) = $\tau_{18,25}$ (3) = $\tau_{30,25}$ (3) = $\tau_{25,17}$ (3) = $\tau_{17,40}$ (3) = 0,124; $\tau_{10,22}$ (3) = 0,84; $\tau_{22,18}$ (3) = = $\tau_{18,36}$ (3) = 0,128; $\tau_{39,37}$ (3) = 1,47; $\tau_{37,11}$ (3) = 1,62; $\tau_{11,24}$ (3) = 0,20; $\tau_{42,9}$ (3) = $\tau_{9,39}$ (3) = 0,46; $\tau_{44,10}$ (3) = $\tau_{10,26}$ (3) = $\tau_{26,27}$ (3) = 0,67; $\tau_{13,25}$ (3) = $\tau_{25,17}$ (3) = 0,33; $\tau_{19,37}$ (3) = 6,02; $\tau_{37,27}$ (3) = = $\tau_{27,33}$ (3) = 8,74; $\tau_{8,13}$ (3) = 0,82; $\tau_{13,10}$ (3) = 1,05; $\tau_{32,33}$ (3) = 1,46; $\tau_{10,17}$ (3) = $\tau_{17,39}$ (3) = 0,96.

После 3-й итерации F_1 = *F* (19) = 0; F_2 = *F* (10) = 0,30; F_3 = *F* (33) = 0,06; F_4 = *F* (37) = = 0,14; F^* = 0. Для остальных рёбер веса τ_{ij} (3) = 0,25.

Таким образом, данный пример демонстрирует, как на 3-й итерации маршрут, содержащий вершины с наименьшим весом (19 — 37 — 27 — 33), наиболее сильно обогащается феромоном. Значения, соответствующие этим вершинам, являются, очевидным образом, делителями числа *N* с максимальной степенью точности ε (для данных вершин $0 \le \varepsilon \le 0,14$). Очевидно, что на последующих итерациях по этому маршруту пойдёт наибольшее количество агентов, в то время как другие пути будут исчезать.

Таким образом, отличительными особенностями данного подхода являются:

- возможность эффективной параллельной реализации, связанной с отсутствием миграции особей между процессорами (в отличие от классического ГА);
- возможность определения множества значений x_i, являющихся наилучшим приближением делителя числа *N* с заданной степенью точности.

Отметим, что, как следует из приведённого примера, веса вершин графа могут определяться в процессе работы алгоритма (при формировании маршрута муравьёв), т. е. после этого задача сводится к реализации классического муравьиного алгоритма для определения кратчайшего маршрута заданной длины.

Экспериментальные результаты показывают, что эффективность муравьиных алгоритмов растёт с увеличением размерности решаемых задач оптимизации. При этом сходимость и качество решения зависят от начального расположения колонии и выбранных параметров. В качестве теоретической оценки размерности колонии для данной задачи можно принять $M > (n_j - n_i + 1) / m$. Так как в этом случае маршруты муравьёв с высокой степенью вероятности пересекаются, также высока и вероятность того, что муравей повернёт на оптимальный путь, пройдёт по нему и обогатит его феромоном.

Алгоритм разложения составных чисел на простые сомножители с использованием пчелиных колоний. Необходимо решить следующую задачу. На отрезке [n_i, n_j] определить целочисленные делители числа *N*, являющиеся простыми числами, т. е. осуществить разложение числа *N* на простые множители. Поскольку простые числа, как отмечено в [6, 9], на заданном интервале распределены по логарифмическому закону, то целью поиска является определение в *r*-окрестности точки *x* всех простых чисел y_i и точности ε, с которой данное простое число y_i является делителем числа *N*. Как и в предыдущем случае, значение ε определим как значение функции $F(y_i) = (N / y_i) - [N / y_i]$.

Рассмотрим применение для реализации данного подхода алгоритмов пчелиных колоний, являющихся относительно новым «природным» алгоритмом, используемым, как отмечено в [14], в первую очередь, для оптимизации сложных многомерных функций. Так как в данном случае ищется экстремум немонотонной функции *F* (*x*), поэтому исследование возможности применения для решения данной задачи эвристических методов, не использующих непосредственным образом

аппарат математического анализа, является, несомненно, актуальной задачей. Отметим, что описание алгоритма, основанного на поведении колонии пчёл, приводится в [14, 15, 16]. Исследование пчелиных алгоритмов для решения комбинаторных теоретико-графовых задач (задача разбиения графа, раскраска графа, сравнение с другими биоинспирированными методами) приводится в [17, 18]. Таким образом, на основе математической модели алгоритма, основанного на поведении колонии пчёл, и его описания в [16] алгоритм факторизации числа сформулируем в следующей форме. Как и ранее, будем предполагать, что поиск простого делителя x_j осуществляется на заданном отрезке $[n_i, n_j]$.

1. Определить параметры алгоритма: количество пчёл-разведчиков D, количество рабочих пчёл B, количество участков для исследования окрестностей Z, точность нахождения делителя ε.

2. Выбрать на отрезке $[n_i, n_j]$ D значений аргумента $x_1, \ldots, x_D$.

3. В выбранные точки x_i направить B рабочих пчёл для поиска в их r-окрестности простых чисел в соответствии со следующим алгоритмом [6].

3.1. Определить для каждого значения x_i значение окрестности $r = n / 1,442695$ (где n — число бит в двоичной записи числа).

3.2. Каждое число $y \in [x_i - r, x_i + r]$ последовательно проверяется на делимость с простыми числами в интервале $[2, 2 \cdot r]$.

3.3. К числам, которые прошли тест проверки делимости, применяются известные тесты проверки простоты числа, описанные в [19], например, тест Миллера — Рабина, алгоритм, основанный на матрице Сандарама [20].

4. После определения множества простых чисел Y для каждого $y_i \in Y$ определить значение функции $F(y_i)$, найти $\min\limits_{y_i \in Y} F(y_i)$. Определить y_i, для которых $F(y_i) < \varepsilon$.

5. Из множества Y выбрать случайным образом Z элементов, данные значения обозначить как $x_1, \ldots, x_Z$. Отправить D пчёл-разведчиков для поиска на отрезке $[n_i, n_j]$ D значений аргумента $x_{Z+1}, \ldots, x_{Z+D}$. Если условия остановки не выполнены, переход к 3, иначе к 6.

6. Конец работы алгоритма.

Условиями остановки алгоритма могут являться окончание временного ресурса; определение величины (или множества величин) x_i, для которых $F(x_i) = 0$ или $F(x_i) < \varepsilon$; определение значений функции $F(x_i)$ для всех $x_i \in [n_i, n_j]$.

Таким образом, в данном алгоритме выбор значений аргумента $x_i \in [n_i, n_j]$ имитирует поведение пчёл-разведчиков, а поиск в r-окрестности наиболее вероятных простых чисел имитирует поведение рабочих пчёл (пчёл-фуражиров). Поскольку в данном случае определяется экстремум немонотонной функции, то выбор точек x_i на отрезке $[n_i, n_j]$ для поиска простых чисел в их окрестности производится на каждой итерации случайным образом, что приводит в общем случае к равновероятной возможности получения глобального оптимума на каждой итерации (в отличие от направленного схождения к экстремуму в классическом пчелином алгоритме, описанном в [16]).

Отличительной особенностью разработанного алгоритма, как и в [16], является динамическое разбиение поискового пространства на случайные области, что, с одной стороны, уменьшает время работы алгоритма, а с другой — повышает вероятность нахождения глобального оптимума на каждой итерации. В то же время благодаря случайному равновероятному поиску по всей длине отрезка становится возможным применение эффективных стратегий распараллеливания, приводящих к сокращению временных затрат. На каждой итерации временные затраты равны поиску в самой большой r-окрестности.

Рассмотрим пример применения итерационного алгоритма. Пусть $N = 15589$ и в памяти процессора содержится отрезок $[n_i, n_j] = [115, 140]$. Определим $D = 2$ и выберем случайным об-

разом точки $x_1 = 123$, $x_2 = 133$. Так как $x_1 = (123)_{10} = (1111011)_2$, то определим $n = 7$ и $r = n / 1{,}442695 = 5$.

Выделим интервал чисел [118, 128]. Проверим делимость чисел в данном интервале на простые числа в интервале $[2, 2 \cdot r] = [2, 10]$, т. е. на $\{2, 3, 5, 7\}$. Получим числа $\{121, 127\}$. Однако, т. к. число $(121 - 1) / 2 = 60$ содержится в матрице Сандарама в позиции (5, 5), то число 121 является составным. Для числа 127 $F(127) = 0{,}75$.

Так как $x_2 = (133)_{10} = (10000101)_2$, то $n = 8$ и $r = 6$.

Рассмотрим интервал чисел [127, 139]. Проверим делимость чисел из интервала на простые числа в интервале [2, 12], т. е. на $\{2, 3, 5, 7, 11\}$. Получим числа $Y = \{127, 131, 137, 139\}$. Так как для всех $y_i \in Y$ $(y_i - 1) / 2$ не содержится в матрице Сандарама, то данные числа являются простыми. При этом $F(127) = 0{,}75$; $F(131) = 0{,}0$; $F(137) = 0{,}79$; $F(139) = 0{,}15$. Таким образом, на данной итерации определено значение $x_i \in [n_i, n_j]$, являющееся точным делителем числа N.

Отметим, что в общем случае задачу проверки простоты числа N с помощью матрицы Сандарама можно свести к проверке принадлежности числа $N' = (N - 1) / 2$ множеству арифметических прогрессий, составляющих строки (столбцы) матрицы, приведённой в [20]. То есть задача сводится к определению целочисленного n из соотношений

$4 + 3 \cdot (n - 1) = N'$, $7 + 5 \cdot (n - 1) = N'$, …, $a_k + d_k \cdot (n - 1) = N'$, где $a_k = 4 + 3 \cdot (k - 1)$, $d_k = 3 + 2 \cdot (k - 1)$, т. е. $n - 1 = (N' - (4 + 3 \cdot (k - 1))) / (3 + 2 \cdot (k - 1))$.

Поскольку определение целого значения n имеет смысл при

$$\frac{N' - \left(4 + 3 \cdot (k - 1)\right)}{3 + 2 \cdot (k - 1)} > 1, \tag{5}$$

то определим значение k — число прогрессий (строк или столбцов матрицы), которые надо проверить для определения, является ли N' основой простого числа (в предположении, что $N' \neq 4$ не является первым членом первой прогрессии). Преобразуя (5), получим $N' - 3 \cdot k - 1 > 2 \cdot k + 1$, откуда

$$k < \left]\frac{N' - 2}{5}\right[, \tag{6}$$

где $]x[$ — ближайшее целое снизу к числу x. Таким образом, если число N' не является членом первых k арифметических прогрессий матрицы Сандарама (где k определяется выражением (6)), то число N достоверно является простым. Отметим, что для предлагаемого в [6, 19] вероятностного теста Миллера — Рабина рекомендуется в общем случае проверка $q = \log_2 N$ свидетелей простоты, после чего вероятность того, что N составное, не превышает 4^{-q}.

Поскольку наиболее целесообразными являются криптосистемы, в которых простые сомножители P и Q, составляющие модуль M, имеют порядок 2^{512}, то максимальное значение $r = 355$, поэтому длина интервала $|2, 2 \cdot r| = 700$. Простые числа в этом промежутке могут быть найдены с помощью известных таблиц, поэтому их определение не влияет на временную сложность алгоритма.

Выводы. Таким образом, в данной работе был представлен возможный подход к факторизации составных чисел с использованием биоинспирированных методов (алгоритмов муравьиных и пчелиных колоний), описаны основные отличительные особенности методов (в частности, возможность эффективной параллельной реализации), были также представлены демонстрационные примеры, иллюстрирующие возможность практического использования предложенных алгоритмов.

Библиографический список

1. Зайцев, А. А. Обзор эволюционных методов оптимизации на основе роевого интеллекта / А. А. Зайцев, В. В. Курейчик, А. А. Полупанов // Известия ЮФУ. — 2010. — № 12 (113). — С. 7—12.

2. Лебедев, О. Б. Трассировка в канале методом муравьиной колонии / О. Б. Лебедев // Известия ЮФУ. — 2009. — № 4 (93). — С. 46—52. (Интеллектуальные САПР).

3. Романец, Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. — М.: Радио и связь, 2001. — 376 с.

4. Беляев, А. В. Методы и средства защиты информации / А. В. Беляев. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://docs.luksian.com/security/articles/methods/ (дата обращения 27.12.2011).

5. Основные тенденции развития открытой криптографии. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://bre.ru/security/12050.html (дата обращения 27.12.2011).

6. Кажаров, А. А. Разработка модели криптоанализа RSA при помощи генетических алгоритмов / А. А. Кажаров, Х. А. Кажаров. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://www.contrterror.tsure.ru/index.php/index.php?option=com_content&view=article&id=13 (дата обращения 28.11.2011).

7. Сергеев, А. С. О возможности применения методов генетического поиска для реализации криптоанализа асимметричного алгоритма шифрования данных RSA / А. С. Сергеев // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2008. — № 3. — С. 48—52.

8. Чернышёв, Ю. О. Исследование и разработка методов генетического поиска для реализации криптоанализа алгоритма IDEA и решения основных теоретико-числовых задач криптографии / Ю. О. Чернышёв, А. С. Сергеев, Н. Н. Венцов // Вестник РГУПС. — 2009. — № 3 (35). — С. 70—79.

9. Цагир, Д. Первые 50 миллионов простых чисел / Д. Цагир. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://ega-math.narod.ru/Liv/Zagier.htm (дата обращения 25.11.2011).

10. Дискретная математика: алгоритмы. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/genetic-2005 (дата обращения 18.12.2011).

11. Кажаров, А. А. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач / А. А. Кажаров, В. М. Курейчик // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2010. — № 1. — С. 32—45.

12. Муравьиные алгоритмы. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://rain.ifmo.ru/cat/data/theory/unsorted/ant-algo-2006/article.pdf (дата обращения 27.12.2011).

13. Алгоритмы муравьиной колонии. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Алгоритмы_муравьиной_колонии (дата обращения 27.12.2011).

14. Алгоритм пчёл для оптимизации функции. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://jenyay.net/Programming/Bees (дата обращения: 27.12.2011).

15. Алгоритм пчёл для оптимизации функции. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://lit999.narod.ru/soft/ga/index.html (дата обращения: 27.12.2011).

16. Курейчик, В. В. Роевой алгоритм в задачах оптимизации / В. В. Курейчик, Д. Ю. Запорожец // Известия ЮФУ. — 2010. — № 7 (108). — С. 28—32.

17. Курейчик, В. М. Использование пчелиных алгоритмов для решения комбинаторных задач / В. М. Курейчик, А. А. Кажаров. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2010_3/AI_2010_3/6/00_Kureychik_Kazharov.pdf (дата обращения: 27.12.2011).

18. Курейчик, В. М. Применение пчелиных алгоритмов для раскраски графов / В. М. Курейчик, А. А. Кажаров // Известия ЮФУ. — 2010. — № 12 (113). — С. 7—12.

19. Тест простоты / Википедия. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Тест_простоты (дата обращения: 27.12.2011).

20. Аврутин, В. А. Алгоритм поиска простых чисел в заданном интервале / В. А. Аврутин. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2003/12/024.html (дата обращения 17.11.2011).

Материал поступил в редакцию 27.12.2011.

References

1. Zajcev, A. A. Obzor e`volyucionny`x metodov optimizacii na osnove roevogo intellekta / A. A. Zajcev, V. V. Kurejchik, A. A. Polupanov // Izvestiya YuFU. — 2010. — # 12 (113). — S. 7—12. — In Russian.

2. Lebedev, O. B. Trassirovka v kanale metodom murav`inoj kolonii / O. B. Lebedev // Izvestiya YuFU. — 2009. — # 4 (93). — S. 46—52. (Intellektual`ny`e SAPR). — In Russian.

3. Romanecz, Yu. V. Zashhita informacii v komp`yuterny`x sistemax i setyax / Yu. V. Romanecz, P. A. Timofeev, V. F. Shan`gin. — M.: Radio i svyaz`, 2001. — 376 s. — In Russian.

4. Belyaev, A. V. Metody` i sredstva zashhity` informacii / A. V. Belyaev. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://docs.luksian.com/security/articles/methods/ (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

5. Osnovny`e tendencii razvitiya otkry`toj kriptografii. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://bre.ru/security/12050.html (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

6. Kazharov, A. A. Razrabotka modeli kriptoanaliza RSA pri pomoshhi geneticheskix algoritmov / A. A. Kazharov, X. A. Kazharov. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://www.contrterror.tsure.ru/index.php/index.php?option=com_content&view=article&id=13 (data obrashheniya: 28.11.2011). — In Russian.

7. Sergeev, A. S. O vozmozhnosti primeneniya metodov geneticheskogo poiska dlya realizacii kriptoanaliza asimmetrichnogo algoritma shifrovaniya danny`x RSA / A. S. Sergeev // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 2008. — # 3. — S. 48—52. — In Russian.

8. Cherny`shyov, Yu. O. Issledovanie i razrabotka metodov geneticheskogo poiska dlya realizacii kriptoanaliza algoritma IDEA i resheniya osnovny`x teoretiko-chislovy`x zadach kriptografii / Yu. O. Cherny`shyov, A. S. Sergeev, N. N. Venczov // Vestnik RGUPS. — 2009. — # 3 (35). — S. 70—79. — In Russian.

9. Czagir, D. Pervy`e 50 millionov prosty`x chisel / D. Czagir. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://ega-math.narod.ru/Liv/Zagier.htm (data obrashheniya: 25.11.2011). — In Russian.

10. Diskretnaya matematika: algoritmy`. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/unsorted/genetic-2005 (data obrashheniya: 18.12.2011). — In Russian.

11. Kazharov, A. A. Murav`iny`e algoritmy` dlya resheniya transportny`x zadach / A. A. Kazharov, V. M. Kurejchik // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy` upravleniya. — 2010. — # 1. — S. 32—45. — In Russian.

12. Murav`iny`e algoritmy`. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://rain.ifmo.ru/cat/data/theory/unsorted/ant-algo-2006/article.pdf (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

13. Algoritmy` murav`inoj kolonii. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Алгоритмы_муравьиной_колонии (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

14. Algoritm pchyol dlya optimizacii funkcii. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://jenyay.net/Programming/Bees (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

15. Algoritm pchyol dlya optimizacii funkcii. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://lit999.narod.ru/soft/ga/index.html (data obrashheniya: 27.12.2011). — In Russian.

16. Kurejchik, V. V. Roevoj algoritm v zadachax optimizacii / V. V. Kurejchik, D. Yu. Zaporozhecz // Izvestiya YuFU. — 2010. — # 7 (108). — S. 28—32. — In Russian.

17. Kurejchik, V. M. Ispol`zovanie pcheliny`x algoritmov dlya resheniya kombinatorny`x zadach / V. M. Kurejchik, A. A. Kazharov. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2010_3/AI_2010_3/6/00_Kureychik_Kazharov.pdf (data obrashheniya 24.01.2012). — In Russian.
18. Kurejchik, V. M. Primenenie pcheliny`x algoritmov dlya raskraski grafov / V. M. Kurejchik, A. A. Kazharov // Izvestiya YuFU. — 2010. — # 12 (113). — S. 7—12. — In Russian.
19. Test prostoty` / Vikipediya. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/Тест_простоты (data obrashheniya 17.01.2012). — In Russian.
20. Avrutin, V. A. Algoritm poiska prosty`x chisel v zadannom intervale / V. A. Avrutin. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2003/12/024.html (data obrashheniya 17.11.2011). — In Russian.

CRYPTANALYSIS BIOINSPIRED METHODS OF ASYMMETRIC KEY ON THE BASIS OF COMPOSITE NUMBER FACTORIZATION

A. S. Sergeyev
(Don State Technical University),
O. P. Tretyakov, A. E. Vasilyev
(Krasnodar branch of Military Academy of Communication),
Y. O. Chernyshev
(Don State Technical University)

The application of the bioinspired methods for handling the cryptanalysis problem of the asymmetric encryption algorithms on the basis of the composite number factorization is considered. The algorithms of ant and bee colonies for the composite number factorization by the definition of the integer divisor to the specified accuracy in the stated interval are adduced. The properties of the methods presented, including the efficient parallel feasibility, are described.
Keywords: *cryptanalysis, bee algorithm, ant colony algorithm, pheromone, factorization of numbers, asymmetric cryptosystems, bioinspired methods.*

УДК 621.95.08:51-74

Кинематические возмущения стационарных траекторий формообразующих движений в динамической системе резания

В. Л. Заковоротный, В. Ф. Лукьянов, Фам Динь Тунг, Фам Тху Хыонг
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается математическое моделирование влияния кинематических возмущений траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Они определяют один из важных факторов, от которого зависят параметры точности изготовления деталей. Приводятся данные о влиянии на возмущённые движения не только параметров взаимодействующих динамических подсистем, но и геометрических параметров режущего инструмента.
Ключевые слова: *динамическая система резания, стационарная траектория, кинематическое возмущение, точность обработки.*

Введение. Ранее показано, что траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки образуются на основе преобразования управления (программы ЧПУ) в траектории движения исполнительных элементов станка, и, наконец, траектории движения исполнительных элементов преобразуются в траектории формообразующих движений. Показано, что наиболее перспективным способом обеспечения требуемых по точности траекторий является системный синергетический синтез управления [1, 2]. В указанных работах предлагается методика определения управления для сложных пространственных нелинейных моделей управляемого процесса резания с учётом эволюционных изменений параметров формируемой процессом резания динамической связи. Таким образом, точность обработки в этом случае определяется, с одной стороны, управлением и действием внутренних регуляторов, с другой — эволюционной перестройкой динамической системы резания. Однако в реальной динамической системе резания управляемые от УЭВМ траектории формообразующих движений являются возмущёнными. Эти возмущения зависят от точности станка, например: параметров радиальных биений шпинделя, вариации припуска и физико-механических свойств обрабатываемого материала, тепловых деформаций элементов станка и пр. Однако все эти возмущения можно привести к вариациям текущих значений величин подачи на оборот S_p и припуска t_p. В статье ставится задача и приводятся результаты исследования влияния кинематических возмущений в динамической системе резания на параметры точности изготовления деталей.

Математическое моделирование преобразования кинематических возмущений в параметры точности. Для изучения динамики процесса резания используются следующие обобщённые уравнения [1—6]:

$$m(X)\frac{d^2X}{dt^2}+h(X)\frac{dX}{dt}+c(X)=F(S_p,t_p), \quad (1)$$

где $F(S_p,t_p)=\{F_1(S_p,t_p),...,F_6(S_p,t_p)\}^T$ — вектор-функции динамической характеристики процесса резания, раскрывающие зависимость сил резания от текущих технологических режимов S_p и t_p при заданной скорости резания V_p; $X=\{X_1,...,X_6\}^T$ — вектор упругих деформационных смещений вершины режущего инструмента (первые три координаты) и заготовки в точке контакта с ней режущего инструмента (последние три координаты) по отношению к траектории движения вершины инструмента при отсутствии сил резания; $m(X)=[m_{s,k}(X)]$,

$h(X)=\left[h_{s,k}(X)\right]$, $c(X)=\left[c_{s,k}(X)\right]$, $s,k=1,2,...,6$ — соответственно функциональные матрицы инерционных и диссипативных коэффициентов, а также функциональная матрица формирования упругой составляющей сил в зависимости от вектора деформационных смещений, которые, в свою очередь, зависят от внешних сил.

Вопрос о математическом моделировании и идентификации функциональных матриц $m(X)=\left[m_{s,k}(X)\right]$, $h(X)=\left[h_{s,k}(X)\right]$, $c(X)=\left[c_{s,k}(X)\right]$, а также динамической характеристики процесса резания рассмотрен нами ранее [5, 6]. Здесь проанализируем влияние кинематических возмущений на траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки. В свою очередь, траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки однозначно определяют геометрию формируемой поверхности. Температурными деформациями детали после обработки будем пренебрегать.

Ограничимся рассмотрением процесса продольного точения на токарном станке. В качестве кинематических возмущений рассматриваются вариации скорости подачи в направлении подвижности суппорта продольных перемещений. Таким образом, будем считать заданными по методике, изложенной в [3], траектории движения суппорта продольных перемещений $V_1\left[l(t)\right]$, которым соответствуют требуемые по параметрам качества траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Система координат, в которой отсчитываются траектории, приведена на рис. 1. Кроме этого будем считать заданными приведённые кинематические возмущения в виде вариации скорости продольных перемещений $v_1\left[l(t)\right]$ и смещения $\Delta X_1\left[l(t),\alpha(t)\right]$ инструмента относительно заготовки в направлении оси её вращения. Последние определяются приведёнными к зоне резания радиальными биениями шпинделя. Они для данной точки являются периодическими функциями угла поворота $\alpha(t)=\alpha(t-kT)$, $k=1,2,3,...$ Причём $d\alpha(t)/dt=\Omega=\text{const}$. Таким образом, $\Delta X_1\left[t\right]=\Delta X_1\left[t-kT\right]$ и $T=\text{const}$. Так как при построении системы управления приводами подачи имеется обратная связь по скорости и перемещению суппорта (программируется и стабилизируется фазовая траектория скорости по перемещению), то справедливо $\int\limits_0^{T_0} v_1\left[l(t)\right]dt\Rightarrow 0$, где T_0 — время импульсной реакции системы управления траекторией движения исполнительного элемента. Приведённые выше особенности, вытекающие из свойств управляемых траекторий формообразующих движений и периодических функций радиальных биений шпинделя, являются справедливыми и при рассмотрении влияния вариаций припуска в течение периода вращения заготовки, а также других типичных возмущений.

Представим текущие значения глубины резания t_p и величины подачи S_p в траекториях исполнительных элементов станка с учётом кинематических возмущений:

$$\begin{cases} t_P(t)=R\left[l(t)\right]-X_{0,1}-X_1\left[l(t)\right]-X_4\left[l(t)\right]+\Delta X_1(t)=t_p^{(0)}(t)+\Delta X_1(t)=t_p^{(0)}(t)+t_p^{(k)}(t); \\ S_P(t)=\int\limits_{t-T}^{t}\left[V_1(t)+v_1(t)\right]dt=S_p^{(0)}(t)+S_p^{(k)}(t), \end{cases} \qquad (2)$$

где $t_p^{(k)}(t)$, $S_p^{(k)}(t)$ — кинематические возмущения, приведённые к технологическим режимам. В (2) $t_p^{(0)}(t)$, $S_p^{(0)}(t)$ — изменения технологических режимов во времени, вычисленные по методике [2] для обеспечения требуемых траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Они определяют многообразие траекторий формообразующих движений, обеспечивающих требуемое качество изготовления деталей при минимизации приве-

дённых затрат с учётом эволюционных преобразований параметров динамической связи, формируемой процессом резания.

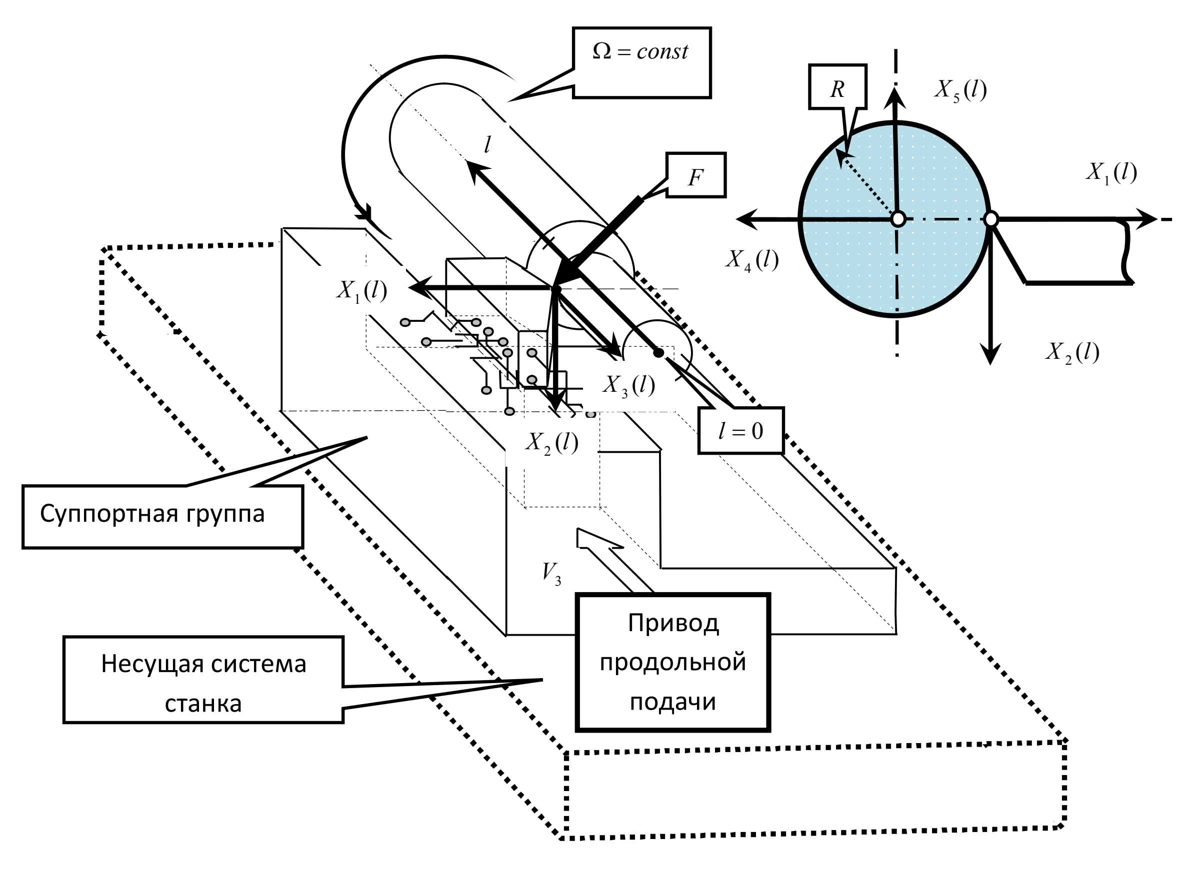


Рис. 1. Схема обработки и система координат, в которой отсчитываются траектории движения исполнительных элементов станка и траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки

В частности, если $t_p^{(0)} = \text{const}$ и $S_p^{(0)} = \text{const}$ (обрабатывается заготовка неизменного диаметра с постоянными режимами), то справедливо линеаризованное представление о динамической системе резания в окрестности стационарной траектории, определяемой постоянными или медленно изменяющимися технологическими режимами. Тогда матрицы инерции, диссипации и упругости подсистем в (1) имеют постоянные параметры. Более того, они являются симметричными и положительно определёнными. В процессе обработки величина кинематических возмущений является соизмеримой с упругими деформационными смещениями инструмента относительно заготовки. Кроме этого, величины как кинематических возмущений, так и деформационных смещений на порядок меньше величин подачи и глубины резания, рассматриваемых без реакции со стороны процесса резания. Тогда уравнение в вариациях относительно стационарной траектории формообразующих движений представляется в виде:

$$m_0 \frac{d^2 X}{dt^2} + h_0 \frac{dX}{dt} + c_{0,\Sigma} X = F_0 + F_S^{(k)} + F_t^{(k)}, \quad (3)$$

где $m_0 = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & 0 & 0 & 0 \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{4,4} & m_{4,5} & m_{4,6} \\ 0 & 0 & 0 & m_{5,4} & m_{5,5} & m_{5,6} \\ 0 & 0 & 0 & m_{6,4} & m_{6,5} & m_{6,6} \end{bmatrix}$, $h_0 = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & h_{1,3} & 0 & 0 & 0 \\ h_{2,1} & h_{2,2} & h_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ h_{3,1} & h_{3,2} & h_{3,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{4,4} & h_{4,5} & h_{4,6} \\ 0 & 0 & 0 & h_{5,4} & h_{5,5} & h_{5,6} \\ 0 & 0 & 0 & h_{6,4} & h_{6,5} & h_{6,6} \end{bmatrix}$,

$$c_{0,\Sigma} = \begin{bmatrix} c_{1,1} + \chi_1\rho S_p^{(0)} & c_{1,2} & c_{1,3} + \chi_1\rho t_p^{(0)} & \chi_1\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_1\rho t_p^{(0)} \\ c_{2,1} + \chi_2\rho S_p^{(0)} & c_{2,2} & c_{2,3} + \chi_2\rho t_p^{(0)} & \chi_2\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_2\rho t_p^{(0)} \\ c_{3,1} + \chi_3\rho S_p^{(0)} & c_{3,2} & c_{3,3} + \chi_3\rho t_p^{(0)} & \chi_3\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_3\rho t_p^{(0)} \\ \chi_1\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_1\rho t_p^{(0)} & c_{4,4} + \chi_1\rho S_p^{(0)} & c_{4,5} & c_{4,6} + \chi_1\rho t_p^{(0)} \\ \chi_2\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_2\rho t_p^{(0)} & c_{5,4} + \chi_2\rho S_p^{(0)} & c_{5,5} & c_{5,6} + \chi_2\rho t_p^{(0)} \\ \chi_3\rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_3\rho t_p^{(0)} & c_{6,4} + \chi_3\rho S_p^{(0)} & c_{6,5} & c_{6,6} + \chi_3\rho t_p^{(0)} \end{bmatrix}$$ — соответственно

матрицы инерционных и диссипативных коэффициентов, а также суммарная матрица упругости подсистем с учётом линеаризованной матрицы динамической жёсткости процесса резания; $F_S^{(k)} = \left\{\chi_1\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_2\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_3\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_1\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_2\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_3\rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}\right\}^T$ — кинематические возмущения со стороны скорости подачи, приведённые к силам;

$F_t^{(k)} = \left\{\chi_1\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_2\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_3\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_1\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_2\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_3\rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}\right\}^T$ — кинематические возмущения со стороны радиальных биений шпинделя, приведённые к силам;

$$F_0 = \Big\{\chi_1\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right], \chi_2\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right], \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow \chi_3\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right], \chi_1\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right], \Leftrightarrow$$ —
$$\Leftrightarrow \chi_2\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right], \chi_3\rho\left[S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)\right]\Big\}^T$$

вектор сил резания (здесь $X_3(t-T)$ и $X_6(t-T)$ — упругие деформационные смещения на предыдущем обороте заготовки). Кроме этого в (3) обозначено: ρ — давление стружки на переднюю поверхность инструмента; $\chi_i, i = 1,2,3$ — коэффициент ориентации силы резания в пространстве. Очевидно, что для этих коэффициентов справедливо условие нормировки $\sum_{i=1}^{3} (\chi_i)^2$. К тому же полагается, что силы, действующие на инструмент и заготовку в точке контакта с ней инструмента, имеют противоположные направления.

Главные особенности системы (3) заключаются в следующем. Во-первых, матрица $c_{0,\Sigma}$ за счёт влияния динамической жёсткости процесса резания не является симметричной. Поэтому кососимметричные её составляющие формируют циркуляционные силы, которые могут влиять на устойчивость равновесия системы. Мы ограничимся случаями, когда точка равновесия системы является асимптотически устойчивой. Во-вторых, для определения влияния кинематических возмущений на параметры точности изготовления деталей необходимо вычислить из (3) сумму $X_1 + X_4$. На неё оказывают влияние все элементы матриц m_0, h_0 и $c_{0,\Sigma}$, причём влияние $c_{0,\Sigma}$ наиболее значимо. В свою очередь, элементы матрицы $c_{0,\Sigma}$ зависят не только от упругих свойств взаимодействующих подсистем, но и от технологических режимов и коэффициентов ориентации

сил. Коэффициенты ориентации сил, со своей стороны, зависят от геометрии режущего инструмента и его износа. В связи с этим возникает проблема выбора технологических режимов и параметров геометрии инструмента, при которых влияние кинематических возмущений на точность обработки минимальна. Проиллюстрируем эти особенности преобразования кинематических возмущений на точность обработки на конкретном примере.

Пример влияния кинематических возмущений на параметры точности обработки. Приведём пример влияния на формируемую поверхность детали кинематических возмущений при управлении процессом обработки по критерию постоянства отклонения радиуса $\Delta R = \text{const}$. На рис. 2 приведён пример реализации суммарных кинематических возмущений в направлении, нормальном к оси вращения заготовки, а на рис. 3 — по направлению скорости подачи при продольном точении. Рассматривается продольное точение вала из стали 20Х диаметром d = = 20,0 мм и длиной 430 мм. Вариации величины подачи в окрестности заданных управляемых движений определяются на основе интегрального преобразования случайных вариаций скорости в величину подачи на оборот.

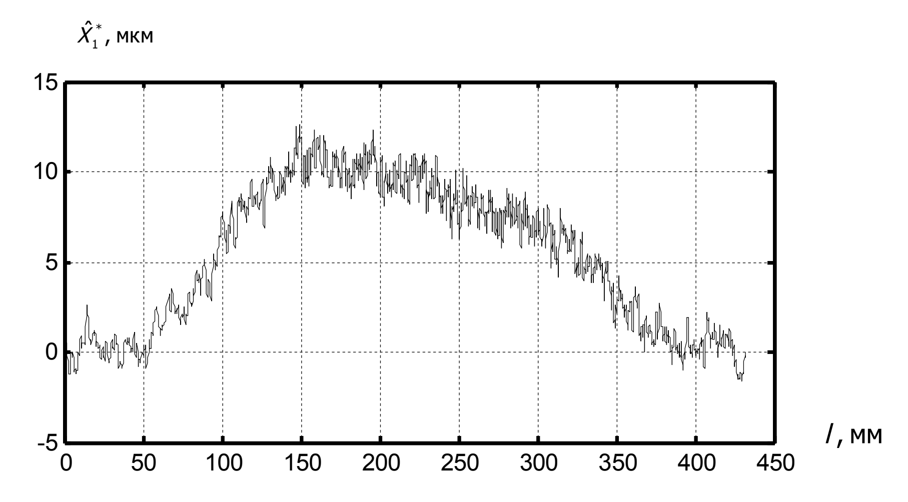


Рис. 2. Пример реализации кинематических возмущений в направлении, нормальном к оси вращения заготовки

Для приведённых временных последовательностей, полученных экспериментально, вычислены вариации упругих деформационных смещений (рис. 4) для двух значений обобщённого параметра ρ, определяющего силовую реакцию со стороны процесса обработки на упругие деформационные смещения. Вычислены соответствующие кинематическим возмущениям значения вариаций выходного параметра $R_Д(l_i)$ (рис. 3). Если сравнить функции отклонения радиуса для двух значений ρ, то необходимо отметить, что, несмотря на существенные отличия этого параметра для двух графиков, максимальные отклонения радиуса детали отличаются не столь существенно. Это связано с тем, что параметр ρ влияет, в основном, на величину деформационных смещений, а функция изменения радиуса зависит не только от деформационных смещений, но и от самой траектории движения суппорта.

Приведём для сравнения реальные значения вариаций диаметра обработки партии из десяти деталей (рис. 5). Диаметр детали d = (22,0 ± 0,1) мм, величина припуска $t_p^{(0)} = (2{,}0 \pm 0{,}1)$ мм; скорость резания $V_p = 60{,}0$ м/мин. Вариации скорости подачи и, соответственно, подачи на оборот осуществляются по программе, исходя из критерия $\Delta R = \text{const}$. Обратим внимание на два обстоятельства. Во-первых, кинематические возмущения вызывают разброс текущих значений деформационных смещений и в конечном счёте определяют один из основных факторов, харак-

теризующих предельно достижимую точность на данном оборудовании. Во-вторых, вариации величины подачи сложным образом переносятся на параметры точности. В нашем случае вариации подачи в пределах 0,03 мм вызывают изменения диаметра, соответствующего 0,01 мм. Этот разброс можно уменьшить, если подобрать соответствующие геометрические параметры инструмента или изменить конструктивные особенности станка, влияющие на угол ориентации эллипсоида жёсткости в подсистеме инструмента.

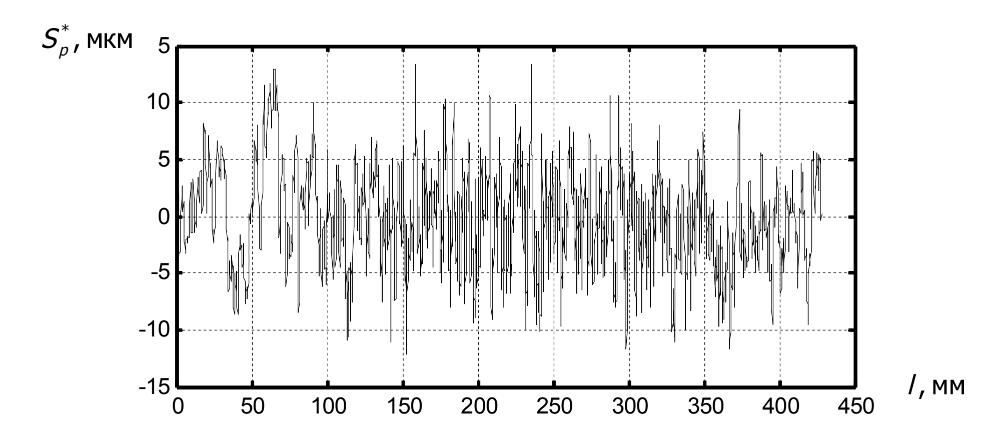


Рис. 3. Пример реализации кинематических возмущений в направлении скорости продольного перемещения суппорта

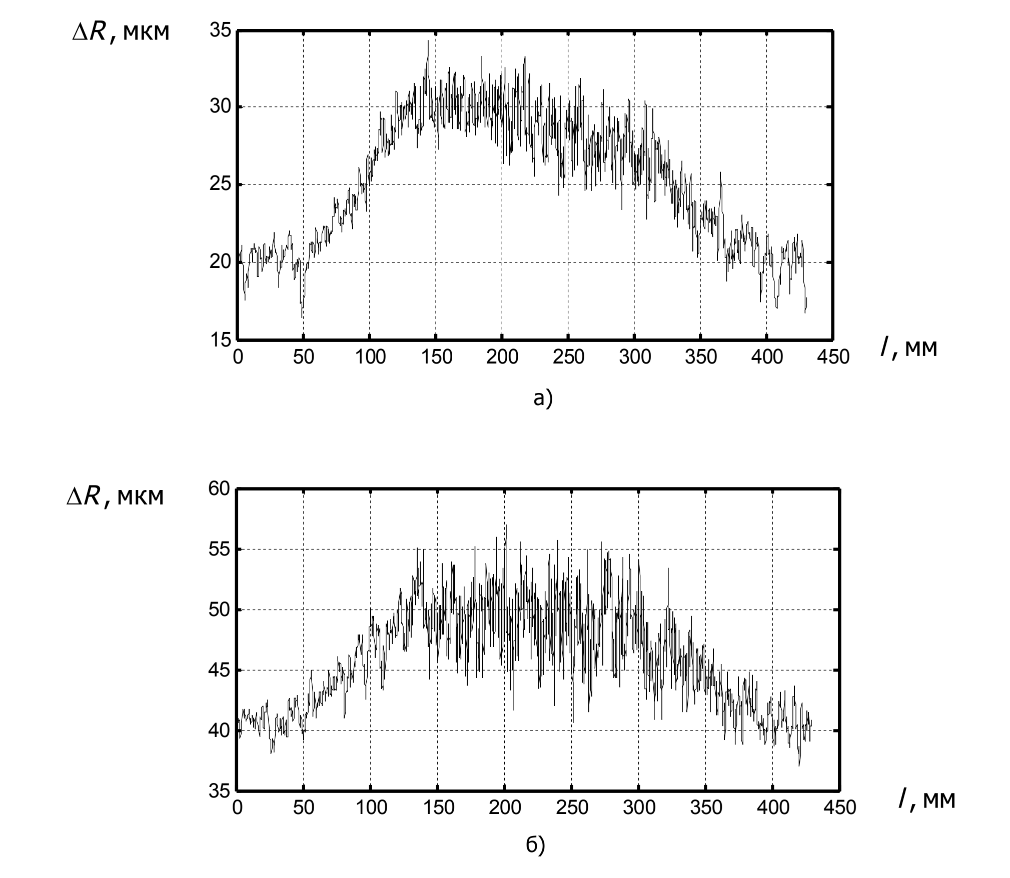


Рис. 4. Изменение геометрической погрешности обработанной детали: а — для $\rho = 290$ кГ/мм^2 ; б — для $\rho = 600$ кГ/мм^2

На рис. 6 показано влияние коэффициента преобразования кинематических возмущений $\tilde{S}_p(t)$ со стороны привода продольной подачи на вариации радиуса детали после обработки $dR(l)$. В данном случае коэффициент преобразования равен:

$$K^{(T)} = \frac{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}\left[d\hat{R} - dR(l_i)\right]^2}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[\hat{\tilde{S}}_p - \tilde{S}_p(t_i)\right]^2}, \quad (4)$$

где $dR(l_i) = \{dR(l_1), dR(l_2), \ldots, dR(l_M)\}^T$ — вектор отклонения радиуса от математического ожидания $d\hat{R}$ на длине обработки l вдоль оси вращения заготовки; $\tilde{S}_p(t_i) = \{\tilde{S}_p(t_1), \tilde{S}_p(t_2), \tilde{S}_p(t_3), \ldots, \tilde{S}_p(t_N)\}^T$ — вектор отклонения текущего значения величины подачи от её математического ожидания $\hat{\tilde{S}}_p$ для временной последовательности вариаций величины подачи.

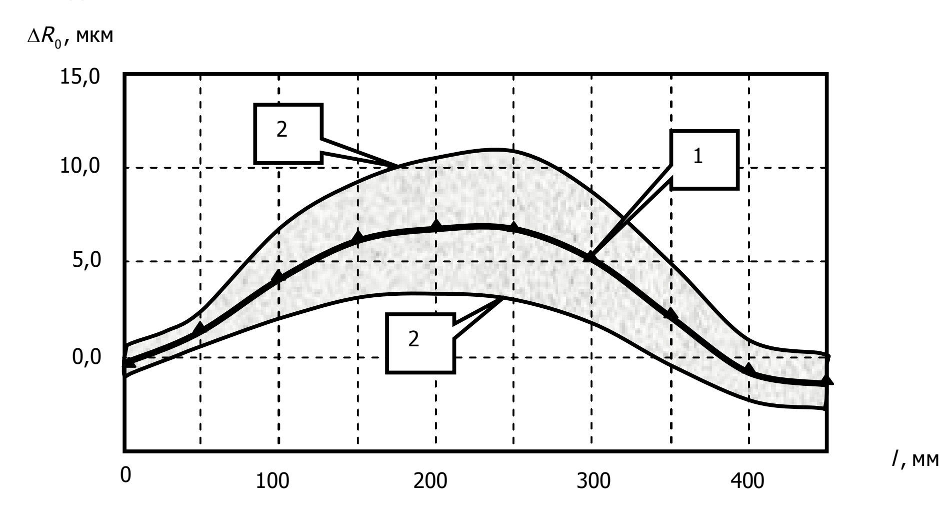


Рис. 5. Экспериментально полученные вариации текущего значения радиуса детали при обработке партии из десяти деталей: 1 — математическое ожидание; 2 — поле разброса

Приведённые иллюстрации наглядно показывают возможность существенной компенсации влияния вариаций скорости подачи, обусловленных кинематическими возмущениями, на точность изготовления детали. Однако необходимо учитывать, что угол ориентации силы резания, зависящий от геометрии инструмента, в пространстве не остаётся неизменным в ходе эволюционных преобразований динамической системы резания. Необходимо также учитывать, что при управлении точностью обработки путём варьирования скорости подачи обеспечение независимости деформационных смещений инструмента относительно заготовки исключает и возможность такого управления. Это особенно важно при изготовлении деталей сложной геометрической формы или деталей, у которых матрицы жёсткости изменяются вдоль траектории движения инструмента относительно детали. В этом случае требования к точности траекторий движения исполнительных элементов значительно повышаются. Таким образом, при обработке каждой конкретной детали необходимо учитывать механизмы преобразования кинематических возмущений в геометрические характеристики детали и на этой основе выбирать не только геометрические характеристики ин-

струмента, но и закон управления траекториями исполнительных элементов металлорежущего станка.

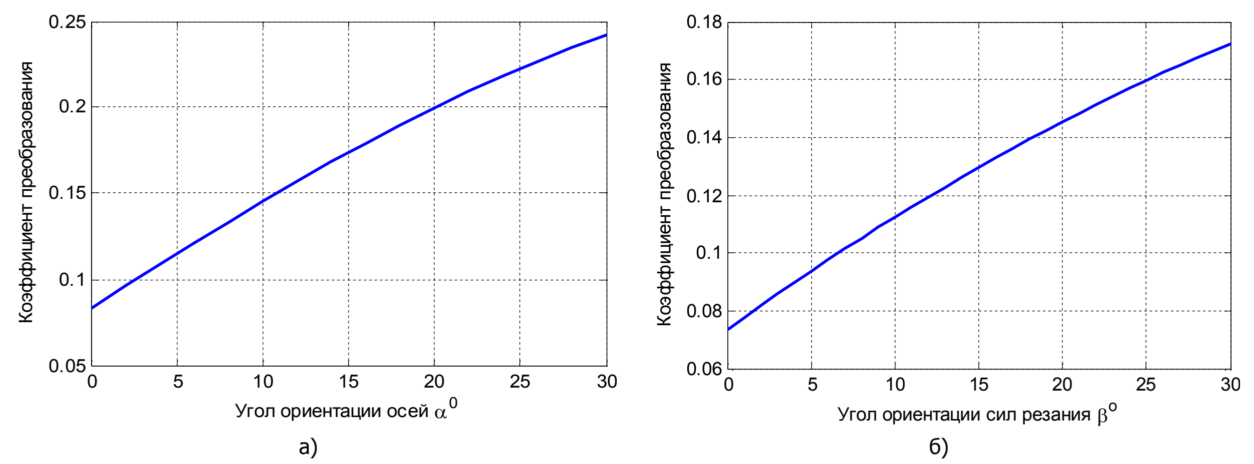


Рис. 6. Изменение коэффициента преобразования кинематических возмущений со стороны привода подачи в вариации текущего значения радиуса детали:
а — при угле ориентации осей эллипса жёсткости $\alpha = 10°$; б — при угле ориентации силы резания $\beta = 20°$

Выводы. 1. Кинематические возмущения, всегда существующие в металлорежущих станках и определяющие параметры их точности, оказывают влияние на геометрию формируемой в процессе резания поверхности. Кинематические возмущения связаны с вариациями скоростей подачи движения суппортов в направлениях их подвижности, а также с радиальными биениями шпинделя. В связи с этим при управлении точностью обработки, например за счёт учёта упругих деформационных смещений вершины инструмента относительно заготовки, существует предельно достижимая точность обработки.

2. В зависимости от параметров динамических подсистем со стороны режущего инструмента и заготовки, а также геометрии инструмента можно существенно снизить влияние кинематических возмущений на точность изготовления деталей.

3. Разработанная методика и математическое моделирование преобразования кинематических возмущений в параметры точности позволяют на стадии проектирования определять влияние варьируемых параметров динамической системы резания, например геометрии инструмента, на точность обработки.

Библиографический список

1. Заковоротный, В. Л. Динамика процесса резания. Синергетический подход / В. Л. Заковоротный, М. Б. Флек. — Ростов-на-Дону: Терра, 2006. — 876 с.

2. Синергетический системный синтез управляемой динамики металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В. Л. Заковоротный [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2008. — 314 с.

3. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. — Москва: Машиностроение, 1967. — 360 с.

4. Городецкий, Ю. И. Функции чувствительности и динамика сложных механических систем / Ю. И. Городецкий. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского, 2006. — 236 с.

5. Заковоротный, В. Л. Моделирование деформационных смещений инструмента относительно заготовки при точении / В. Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг, Нгуен Суан Тьем // Вестник ДГТУ. — 2010. — Т. 10. — № 7 (50). — С. 1005—1015.

6. Заковоротный, В. Л. Моделирование и идентификация инерционных и диссипативных свойств подсистем режущего инструмента и заготовки при точении / В. Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг, Нгуен Суан Тьем // Вестник ДГТУ. — 2010. — Т. 10. — № 8 (51). — С. 1165—1178.

7. Генкин, М. Д. Метод идентификации (определения параметров) механических колебательных систем по экспериментальным АЧХ / М. Д. Генкин, В. И. Сергеев, Л. В. Сухоруков // Применение теории нелинейных колебаний в механике. — Киев: Ин-т математики АН УССР, 1970. — С. 197—205.

8. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйкхофф; пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя; под ред. Н. С. Райбмана. — Москва: Мир, 1975. — 680 с.

Материал поступил в редакцию 25.12.2011.

References

1. Zakovorotny`j, V. L. Dinamika processa rezaniya. Sinergeticheskij podxod / V. L. Zakovorotny`j, M. B. Flek. — Rostov-na-Donu: Terra, 2006. — 876 s. — In Russian.

2. Sinergeticheskij sistemny`j sintez upravlyaemoj dinamiki metallorezhushhix stankov s uchyotom e`volyucii svyazej / V. L. Zakovorotny`j [i dr.]. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2008. — 314 s. — In Russian.

3. Kudinov, V. A. Dinamika stankov / V. A. Kudinov. — Moskva: Mashinostroenie, 1967. — 360 s. — In Russian.

4. Gorodeczkij, Yu. I. Funkcii chuvstvitel`nosti i dinamika slozhny`x mexanicheskix sistem / Yu. I. Gorodeczkij. — Nizhnij Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskogo gos. un-ta im. N. I. Lobachevskogo, 2006. — 236 s. — In Russian.

5. Zakovorotny`j, V. L. Modelirovanie deformacionny`x smeshhenij instrumenta otnositel`no zagotovki pri tochenii / V. L. Zakovorotny`j, Fam Din` Tung, Nguen Suan T`em // Vestnik DGTU. — 2010. — T. 10. — # 7 (50). — S. 1005—1015. — In Russian.

6. Zakovorotny`j, V. L. Modelirovanie i identifikaciya inercionny`x i dissipativny`x svojstv podsistem rezhushhego instrumenta i zagotovki pri tochenii / V. L. Zakovorotny`j, Fam Din` Tung, Nguen Suan T`em // Vestnik DGTU. — 2010. — T. 10. — # 8 (51). — S. 1165—1178. — In Russian.

7. Genkin, M. D. Metod identifikacii (opredeleniya parametrov) mexanicheskix kolebatel`ny`x sistem po e`ksperimental`ny`m AChX / M. D. Genkin, V. I. Sergeev, L. V. Suxorukov // Primenenie teorii nelinejny`x kolebanij v mexanike. — Kiev: In-t matematiki AN USSR, 1970. — S. 197—205. — In Russian.

8. E`jkxoff, P. Osnovy` identifikacii sistem upravleniya. Ocenivanie parametrov i sostoyaniya / P. E`jkxoff; per. s angl. V. A. Lotoczkogo, A. S. Mandelya; pod red. N. S. Rajbmana. — Moskva: Mir, 1975. — 680 s. — In Russian.

KINEMATIC PERTURBATIONS OF STATIONARY TRAJECTORIES OF SHAPE-GENERATING MOVEMENTS IN CUTTING DYNAMIC SYSTEM

V. L. Zakovorotniy, V. F. Lukyanov, Pham Dinh Tung, Pham Thu Huong
(Don State Technical University)

The mathematical simulation of the interaction of kinematic perturbations of the tool shape-generating movement trajectories and the workpiece is considered. They de-fine one of the key factors determining the parameters of part manufacturing accuracy. The data for the effect not only of the interacting dynamic subsystems parameters, but also of the geometrical parameters of the cutting tool on the perturbation movements is resulted.
Keywords: *cutting dynamic system, stationary trajectory, kinematic perturbation, processing accuracy.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.91:621.793:669.018.45

Об электрических явлениях при трении

А. А. Рыжкин, В. Э. Бурлакова
(Донской государственный технический университет)

Обобщены литературные данные и полученные авторами результаты комплексного изучения электрических процессов, протекающих в зоне фрикционного контакта.
Ключевые слова: *трение, износ, контактная электризация, электрохимические и электрокинетические явления, трибоэлектрические явления.*

Введение. Функционирование системы трения и её выход на оптимальный режим изнашивания определяется комплексом внешних и внутренних факторов, роль которых до настоящего времени до конца ещё не выяснена.

К внешним факторам, как известно, относятся нагрузка, скорость относительного перемещения трущихся тел, внешняя среда, физико-механические свойства материалов. К внутренним следует отнести, по нашему мнению, процессы электрической природы. Это электрические процессы, сопутствующие трению и износу металлов и их сплавов, полимеров и композиционных материалов на их основе, и являющиеся своеобразными каналами диссипации энергии трения [1, 2]: контактная электризация; электрохимические и электрокинетические явления: экзоэлектронная эмиссия; электроакустический эффект; возникновение электродвижущей силы (ЭДС) самоиндукции; электромагнитные явления; эмиссия электронов высоких энергий; возникновение плазмы; термоэлектрические явления.

Электрические явления при трении. Контактная электризация обусловлена контактной разностью потенциалов при соприкосновении двух тел с разной работой выхода электронов ($W_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$) и проявляется в условиях трения даже металлических тел, так как в зазоре между трущимися телами из-за наличия между впадинами микровыступов шероховатых поверхностей, плёнок твёрдой или жидкой смазки с диэлектрическими свойствами образуется своеобразный конденсатор [3, 4]. Адсорбция на поверхности отрицательных ионов, увеличивающая работу выхода электрона, может стать причиной возникновения не только эффекта конденсатора, но и больших потенциалов и значительных термоэлектронных токов. Самостоятельное значение контактная электризация имеет при трении металлополимерных пар [5—11]. В работах [11, 12] установлено, что в парах трения «металл — полимер» в зависимости от сорта полимера, свойств среды возникают потенциалы от десятков до нескольких тысяч вольт.

Величина переменного сигнала в этих парах колеблется от десятков до сотен милливольт [8]. Оказалось, что величина и знак заряда полимера (электрического поля, потенциала) влияют на интенсивность изнашивания. В [10], например, установлено, что при подаче на пластмассу (материал тормозных колодок) положительного потенциала от внешнего источника износ контртела в 2—3 раза выше, чем при отрицательной полярности (рис. 1). Для обратных пар трения (вал изготовлен из пластмассы, а тормозная колодка — из стали [8]) при замкнутой цепи по ней протекает ток величиной (1—2) · 10^{-6} А с направлением от подшипника к валу; размыкание электрической цепи снижает износ подшипника (рис. 2). Для электропроводной пластмассы ФК-24С ток от внешнего источника может увеличивать и снижать трение [12].

Электрохимические процессы [13] проявляются при контакте металла с жидкостью, куда переходят ионы металла, при этом металлическая поверхность приобретает потенциал, устанавливающий равновесие между процессом выделения и осаждения ионов. Если в растворе находится контакт из двух металлов, то по этой цепи будет течь электрический ток до тех пор, пока в растворе сохраняются ионы металла и раствора.

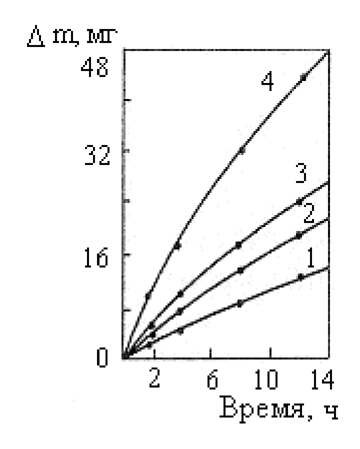


Рис. 1. Зависимость весового износа стали (кривые 1 и 3) и материала 8-1-66 (кривые 2 и 4) от времени при подаче на пластмассу потенциала +30 В (кривые 3 и 4) и −30 В (кривые 1 и 2) [10]

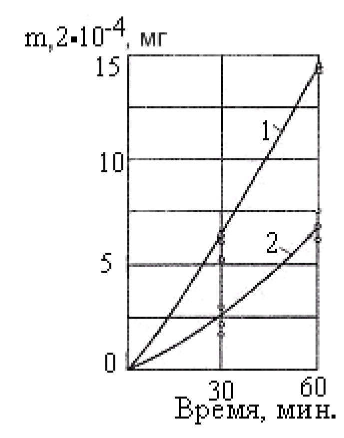


Рис. 2. Износ стального подшипника в паре «ДПК (с графитом) — сталь»: 1 — пара трения замкнута (оба элемента заземлены); 2 — пара трения разомкнута изоляцией [14]

Электрические токи этой природы могут протекать между разными участками негомогенной поверхности [15]. Кроме этого возможна электризация поверхности металла и жидкости до десятков вольт, например масла как смазки, при её движении [16]. В [3] описан скачок потенциала на металле при наличии смазки, который объясняется действием гальванических пар и электрокинетическими явлениями.

С электрохимических позиций объяснимы коррозионно-механический износ [17] и феномен избирательного переноса (ИП) [18—22].

При трении пары «бронза — сталь» в среде глицерина в результате электрохимического действия поверхность медного сплава подвергается избирательному растворению. Это происходит вследствие того, что все элементы сплава обладают значительно большей химической активностью по сравнению с медью и являются анодами, о чём свидетельствует величина стандартных электродных потенциалов компонентов, например сплава Бр. ОЦС-5-5-5. Избирательное анодное растворение компонентов и удаление их со смазкой из зоны трения приводят к образованию тончайшего медного покрытия на поверхности бронзы. Затем ионы меди оседают на катодных участках стали, образуя медную плёнку. Доказательством электрохимической природы избирательного переноса является установленная связь между износостойкостью металлов и величиной гальваноЭДС, а также проявление ИП в коррозионно-активных средах [17].

Явление *водородного износа* в большинстве случаев также имеет электрохимическую природу и определяется электродным потенциалом металла. В [23] рассмотрены с электрохимических позиций возможные превращения на фрикционном контакте, которые приводят к образованию свободного водорода. Трение, с одной стороны, ускоряет десорбцию водорода с поверхности, а с другой — усиливает способность металла поглощать водород. Обычно при трении потенциал смещается в катодную область, что способствует более интенсивному выделению водорода.

Экзоэлектронная эмиссия (эффект Крамера) — процесс излучения электронов с поверхности твёрдых тел в результате возбуждения поверхности деформациями при различных видах об-

работки, а также в результате облучения источниками различной физической природы (γ-кванты, ультразвуковое излучение и др.) [24].

Данные исследований интенсивных экзоэмиссий при сухом трении показывают, что по кривым эмиссии, снятым в динамике трения, можно получить информацию о процессах в зоне контакта, оценить состояние поверхностей трения в связи с развитыми дефектами их структуры, уровень свободной поверхностной энергии и изучить закономерности реверсивного трения. В [24] установлено, что в начальный момент трения увеличивается интенсивность экзоэмиссии, твёрдость и снижается работа выхода электрона, причём в период приработки наблюдается прямая зависимость между экзоэмиссией и твёрдостью. При реверсе эта закономерность нарушается. Уменьшение при реверсе работы выхода электронов соответствует возрастанию экзоэмиссии (центрами её являются места скоплений дефектов структуры).

Рассмотрим более подробно термоэлектрические явления в условиях контактного взаимодействия при трении, которые можно в этой связи называть трибоэлектрическими.

Изучение возникновения скачков силы трения при протягивании штифтов через цилиндрические кольца [25] показало, что причиной скачков служат электростатические явления в слое смазки и контактных поверхностях металлических элементов пары трения. Диэлектрические свойства смазочной плёнки определяют величину пробойного напряжения (15—20 кВ) и тока, проходящего через контакт. В среде парафина, например для стальной пары при прохождении тока 2 А, скачок силы трения уменьшается почти в 2 раза по сравнению с бестоковым режимом. Авторы считают, что в общую силу трения вносит существенный вклад электростатическая составляющая, и, чтобы обеспечить плавное, без скачков, скольжение, требуется ток большей плотности.

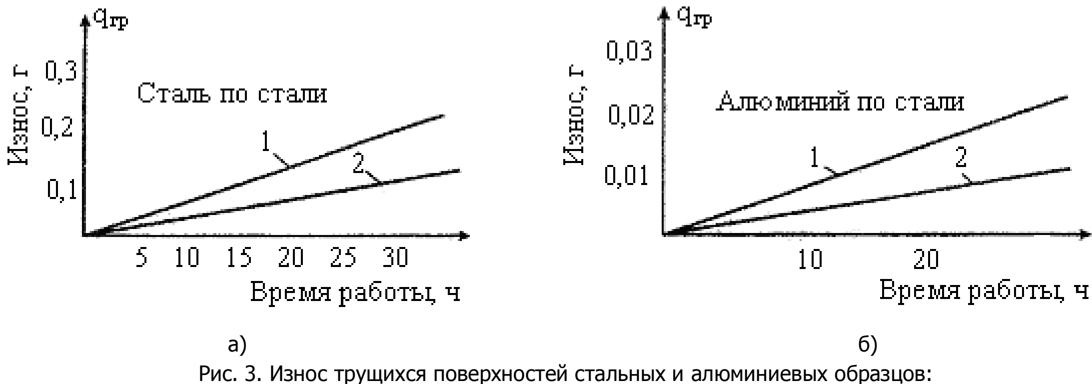
В результате анализа причин возникновения электрического тока при трении [26, 27], установлено, что электрический ток возникает даже при трении образцов из одного материала. Это обстоятельство позволило автору сделать вывод, что при трении твёрдых тел электрический ток протекает за счёт термоЭДС и термоэлектронной эмиссии. Зафиксированные средние значения тока при трении пластин из различных металлов со смазкой и без смазки, показали, что величина и направление тока различны для разных металлов.

Термоэлектронные токи, как показано в работе [27], являются решающим фактором, влияющим на величину износа сопряжённых пар. Для проверки влияния электрического тока на износ трущихся образцов были проведены долговременные испытания [27] образцов при работе в нормальных условиях и с наложенным закорачивающим шунтом. При одинаковых условиях работы износостойкость трущихся пар с закорачивающим шунтом (частичная компенсация термоЭДС) в 2 раза выше износостойкости образцов без шунта (рис. 3).

Аналогичные результаты получены в [27] при введении в зону трения постоянного тока от внешнего источника. Установлено, что при токе 80—120 мкА колебание потенциалов минимальное и изображается на осциллограммах относительно ровной линией. Для каждой трущейся пары существует оптимальное значение силы тока. В производственных условиях изучение влияния тока на износ фильеров при протягивании проволоки показало, что стойкость фильеров с подключённым конденсатором в 3 раза выше стойкости их при работе в обычных условиях.

Влияние электрического тока на износ при трении исследуется в [28], где рассматривается износ образцов из оловянистой бронзы при полусухом трении о торец стального закалённого диска. Испытанию подвергались одновременно два образца, изолированные друг от друга и корпуса установки, а износ определялся на одном из образцов. Опыты проводились при V = 12,5 м/с и удельном давлении ρ = 1,6 кгс/см^2 со смазкой трущихся поверхностей техническим вазелином. Устанавливалось влияние тока от постороннего источника (I = 6 А, E = 1 В) и его направление на износ образца, а также термотока, возникающего при изоляции исследуемого образца на пло-

щадке трения. Термоток в этом случае был меньше, чем при соединении двух образцов, и возникал, как указывает автор, вследствие разности скоростей трения на разных участках площадки трения.



а) б)

Рис. 3. Износ трущихся поверхностей стальных и алюминиевых образцов:
а — при работе без шунта; б — при наложении шунта [26, 27]

Из рис. 4 видно, что наибольший износ наблюдается в случае протекания тока от истираемого образца к диску (рис. 4, *а*). При обратной полярности (рис. 4, *б*) износ образца уменьшается в 4 раза. Наименьший износ установлен, когда истираемый образец не является частью электрической цепи (рис. 4, *г*) и приблизительно в 1,5 раза меньше, чем при замкнутой цепи (рис. 4, *в*).

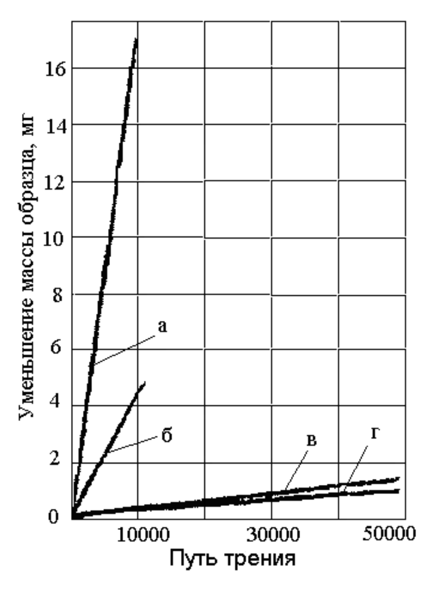


Рис. 4. Влияние электрического тока на износ образцов из оловянистой бронзы при трении о закалённую сталь [28]:
а — образец присоединён к положительному полюсу батареи; б — то же, к отрицательному полюсу; в — цепь термотока замкнута; г — образец изолирован

Аналогичное влияние электрического тока на износ подшипников установили Симпсон и Рассел [29]. Испытание шариковых подшипников в течение 24 часов с целью выяснения физического воздействия тока показало, что при максимальном токе 50 А дорожка качения на наружном кольце, соединённом с положительным полюсом источника постоянного тока, сильно темнеет, и на шариках также появлялись тёмные полосы. При перемене направления тока потемнение происходило на внутреннем кольце; внешний вид наружного кольца не изменялся, но шарики также покрывались тёмными полосами. При пропускании токов силой 25, 12, 6,3, 1 А и 500, 250 и

125 мА характер повреждений подшипниковых колец и шариков такой же, как при токе 50 А, но интенсивность почернения снижается с уменьшением тока. При токах меньше 3 А на кольцах не обнаружено следов повреждений, а на шариках появляется большое количество глубоких ямок. Шарики при малых токах также темнеют, и с уменьшением тока до 125 мА, как указывают авторы, коррозионный питтинг (износ) их не уменьшается, а становится точечным.

Нами были рассмотрены в определённом смысле «пионерские» работы, авторы которых внесли существенный вклад в изучение проблемы — «электрического» износа пар трения. Естественно, что за почти сорокалетний период с момента публикации первых работ в области трибоэлектрики (термин И. В. Крагельского) проведено достаточно исследований применительно к этим и другим операциям механической обработки, например, зенкерованию, фрезерованию, резьбонарезанию, зубообработке, дорнованию.

В табл. 1 представлены обобщённые данные этих исследований. Не акцентируя внимание на «электрическом режиме» пар трений, отметим огромный разброс экспериментальных данных по коэффициентам эффективности $K_И$ (табл. 1) в условиях трения: $K_И$ = 1,0…4,0.

Таблица 1

Влияние постоянного электрического тока на износ при трении

№ п/п	Источник информации	Материалы пары	Режим трения	Электрические условия на контакте	Коэффициент снижения износа $K_И$
1	[26]	Сталь — платина Алюминий по стали	—	Шунтирование Шунтирование	2,2 2,0
2	[4, 28, 30]	Бронза по стали Р18 по Ст45	V = 17,5 м/с V = 1,5—1,85 м/с P = 0,16 МПа	Противоток 6 А Изоляция ПротивоЭДС	4,0 1,5 3,0
3	[31]	Никель по стали 2Х13 АРМКО-железо по стали 2Х13 Цинк по стали 2Х13	V = 15 м/с N = 10 Н V = 15 м/с N = 10 Н V = 15 м/с N = 50 Н	Ток $1 \cdot 10^{-5}$ А Ток $1 \cdot 10^{-4}$ А Шунтирование	2,0 4,0 2,8
4	[16, 32] [16]	БрАЖ9-4 — закалённая Ст45 ШХ15 по ШХ15	V = 4 м/с P = 0,5 МПа V = 0,33 м/с N = 1000 Н	Противоток $1 \cdot 10^{-3}$ А Отрицательный ток 10 А	1,25—2,3 1,2
5	[33]	БРОФ по БРОЦС БРОФ по Ст45	V = 2,5 м/с P = 0,25 МПа V = 2,5 м/с P = 0,14 МПа	Отрицательный ток 125 А/см^2 Положительный ток 10 А/см^2	1,3 1,5
6	[34]	Co — Ag — MoS_2 по стали 2Х13	V = 0,3 м/с P = 0,9 МПа	Изоляция	1,0
7	[35]	Т15К6 по Ст45	V = 4,2 м/с	компенсация	1,6
8	[36]	Т15К6 по Ст45 Р18 по Ст45	V = 3,0 м/с V = 0,6 м/с	изоляция изоляция	1,5 2,05

Подавляющее большинство исследователей изучали влияние трибоэлектрических процессов (термоЭДС и обусловленных ими токов) на износ трущихся пар, применяя следующие схемы:

1. Закорачивание шунтом цепи термотока, нагружение зоны трения.

2. Компенсация термоЭДС, возникающей при трении путём подведения к зоне контакта ЭДС, равной по величине естественно возникающей, но противоположной ей по знаку (противоЭДС) — результирующий термоток становится равным нулю.

3. Подведение к контакту ЭДС, противоположной по знаку и большей по величине, чем естественно возникающая ЭДС, при этом по цепи потечёт ток в направлении, противоположном термотоку (метод противоЭДС).

4. Включение в цепь результирующего триботока электрической цепочки типа RC для подавления импульсных разрядов.

Не останавливаясь на преимуществах и недостатках каждой из названных схем, отметим, что при их реализации авторы ставили совершенно конкретную цель — обосновать собственную точку зрения о природе влияния трибоэлектрических процессов на процесс изнашивания или уточнить обнаруженный эффект.

Вывод. Подводя предварительные итоги рассмотрения влияния «внутренних» энергетических воздействий на трение и износ, отметим, что данные явления изучаются на макро-, микро- и субмикроуровнях. Речь идёт, прежде всего, о влиянии трибоэлектрических процессов на износ, закономерности которых на каждом из указанных уровней до конца ещё не раскрыты.

На микроуровне также отмечаются синергетические явления, например, трибоэлектрическая (теплофизическая) совместимость структурных составляющих твёрдых сплавов на границе раздела фаз обеспечивается равенством работ выхода электронов карбидов и связки, а также коэффициентов их тепловой совместимости. Применительно к субмикроуровню синергетическим признаком может служить оптимальная плотность дислокаций, определяющая прочность, пластичность и износостойкость материала. Вероятные на сегодня методы воздействия на дислокационную структуру — внешнее электрическое поле и электрический ток.

Статья подготовлена в ходе работ по государственному контракту на выполнение научно-исследовательских работ с Минобрнауки России от 29 апреля 2011 года № 16.552.11.7027.

Библиографический список

1. Литвинов, В. Н. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении / В. Н. Литвинов, Н. М. Михин, Н. Н. Мышкин. — Москва: Наука, 1979. — 187 с.

2. Свиридёнок, А. И. Акустические и электрические методы в триботехнике / А. И. Свиридёнок [и др.]. — Минск: Наука и техника, 1987. — 280 с.

3. Постников, С. И. Электрические явления при трении и резании / С. И. Постников. — Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1975. — 280 с.

4. Электрические явления при трении и резании металлов: сб. ст. / под ред. М. М. Хрущёва, В. А. Бобровского. — Москва: Наука, 1969. — 119 с.

5. Белый, В. А. Об исследовании процесса переноса при трении полимеров / В. А. Белый [и др.] // Механика полимеров. — 1971. — № 4. — С. 750—752.

6. Белый, В. А. Проблема создания композиционных материалов и управление их фрикционными свойствами / В. А. Белый // Трение и износ. — 1982. — Т. 3. — № 3. — С. 389—395.

7. Белый, В. А. К вопросу о механизме трения наполненных полимеров / В. А. Белый, Б. И. Купчинов // О природе трения твёрдых тел: сб. ст. — Минск: Наука и техника, 1971. — С. 190—197.

8. Билик, Ш. М. Пары трения металл — пластмасса в машинах и механизмах / Ш. М. Билик. — Москва: Машиностроение, 1966. — 311 с.

9. Билик, Ш. М. Влияние направления стекания электрических зарядов, образующихся при трении, на износ металлополимерной пары / Ш. М. Билик, В. П. Цуркан // Теория смазочного действия и новые материалы: сб. ст. — Москва: Наука, 1985. — С. 222—224.

10. Колесников, В. И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах / В. И. Колесников. — Москва: Наука, 2003. — 279 с.

11. Цуркан, В. П. Электрические явления в узлах трения металл — пластмасса / В. П. Цуркан // Пластмассы в подшипниках скольжения: сб. ст. — Москва: Наука, 1965. — С. 75—82.

12. Георгиевский, Г. А. Исследование кинетики электризации при скольжении фрикционных пластмасс по металлу / Г. А. Георгиевский, Л. А. Лебедев, Е. М. Бороздинский // Электрические явления при трении, резании и смазке твёрдых тел. — Москва: Наука, 1973. — С. 12—20.

13. Кретинин, О. В. Система контроля работоспособности инструментов при точении / О. В. Кретинин, А. П. Елепин, А. Р. Кварталов // Вестник машиностроения. — 1984. — № 7. — С. 41—43.

14. Кукоз, Ф. И. Трибоэлектрохимия: учеб. пособие / Ф. И. Кукоз, В. Ф. Кукоз. — Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2003. — 399 с.

15. Кизельштейн, В. Я. Химико-механическая обработка металлов / В. Я. Кизельштейн. — Ленинград: Судостроение, 1969. — 154 с.

16. Электрические явления при трении, резании и смазке твёрдых тел: сб. ст. / под ред. В. А. Бобровского. — Москва: Наука, 1973. — 147 с.

17. Прейс, Г. А. Электрохимические явления при трении металлов / Г. А. Прейс, А. Г. Дзюб // Трение и износ. — 1980. — Т. 1. — № 2. — С. 217—235.

18. Гаркунов, Д. Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д. Н. Гаркунов, И. В. Крагельский, А. А. Поляков. — Москва: Транспорт, 1969. — 103 с.

19. Кужаров, А. С. Трибохимия избирательного переноса: автореф. дис. … д-ра техн. наук / А. С. Кужаров. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1991. — 42 с.

20. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности. Влияние трения на электрохимические характеристики фрикционного контакта в начальной стадии избирательного переноса / А. С. Кужаров [и др.] // Трение и износ. — 1998. — Т. 19. — № 1. — С. 80—89.

21. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности. Механизм формирования граничных слоёв на стали в самоорганизующейся трибологической системе «медь — глицерин — сталь» / А. С. Кужаров [и др.] // Трение и износ. — 1998. — Т. 19. — № 6. — С. 768—778.

22. Шпеньков, Г. П. Физико-химические процессы трения (применительно к избирательному переносу и водородному износу) / Г. П. Шпеньков. — Минск: Изд-во БГУ, 1978. — 208 с.

23. Поляков, А. Л. Исследование водородного износа / А. Л. Поляков, Ю. С. Симаков. — Москва: Наука, 1977. — 84 с.

24. Евдокимов, В. Д. Экзоэлектронная эмиссия при трении / В. Д. Евдокимов, Ю. И. Сёмов. — Москва: Наука, 1973. — 280 с.

25. Рыжкин, А. А. Влияние пластической деформации на тепловой режим зоны трения / А. А. Рыжкин, А. Н. Филипчук // Прогрессивные методы термического упрочнения в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении: сб. науч. ст. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1980. — С. 87—89.

26. Дубинин, А. Д. Трение и износ в деталях машин / А. Д. Дубинин. — Москва: Машгиз, 1952. — 121 с.

27. Дубинин, А. Д. Энергетика трения и износа деталей машин / А. Д. Дубинин. — Москва: Киев: Машгиз, 1963. — 137 с.

28. Гордиенко, П. Л. О влиянии электрического тока на износ при трении металлических тел / П. Л. Гордиенко, С. Л. Гордиенко // Вестник машиностроения. — 1952. — № 7. — С. 23—25.

29. Симпсон, Ф. Ф. Влияние магнитных полей и электрических токов на повреждение шариковых подшипников / Ф. Ф. Симпсон, Р. В. Рассел // Междунар. конф. по смазке и износу машин. — Москва: Машгиз, 1962.

30. Галей, М. Т. Исследование материалов и геометрии режущих инструментов на основе термоэлектрических явлений при резании и трении / М. Т. Галей // Основные направления и перспективы развития технологии приборостроения: сб. ст. — Москва: ОНТИПРИБОР, 1964. — С. 223—227.

31. Коршунов, Л. Г. Влияние электризации и малых постоянных токов на износ металлов при трении скольжения / Л. Г. Коршунов, Р. И. Минц // Физико-химическая механика материалов. — 1967. — Т. 3. — № 4. — С. 392—396.

32. Электрохимические процессы при трении и их использование для борьбы с износом: мат-лы всесоюз. конф. — Одесса, 1973. — 280 с.

33. Избирательный перенос при трении и его экономическая эффективность. — Москва: МДНТП им. Дзержинского, 1972. — 252 с.

34. Глузский, Я. Л. Влияние трибоэлектрических явлений на работоспособность самосмазывающихся композиций на основе кобальта / Я. Л. Глузский // Проблемы трения и изнашивания. — 1976. — № 10. — С. 64—68.

35. Аваков, А. А. Исследование эффектов повышения износостойкости твердосплавных режущих пластинок / А. А. Аваков, Ю. С. Дубров, Г. С. Николаева // Известия вузов. Машиностроение. — 1965. — № 3. — С. 55—58.

36. Рыжкин, А. А. Термодинамические основы повышения износостойкости инструментальных режущих материалов: дис. … д-ра техн. наук. — Киев, 1985. — 452 с.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

References

1. Litvinov, V. N. Fiziko-ximicheskaya mexanika izbiratel`nogo perenosa pri trenii / V. N. Litvinov, N. M. Mixin, N. N. My`shkin. — Moskva: Nauka, 1979. — 187 s. — In Russian.

2. Sviridyonok, A. I. Akusticheskie i e`lektricheskie metody` v tribotexnike / A. I. Sviridyonok [i dr.]. — Minsk: Nauka i texnika, 1987. — 280 s. — In Russian.

3. Postnikov, S. I. E`lektricheskie yavleniya pri trenii i rezanii / S. I. Postnikov. — Gor`kij: Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, 1975. — 280 s. — In Russian.

4. E`lektricheskie yavleniya pri trenii i rezanii metallov: sb. st. / pod red. M. M. Xrushhyova, V. A. Bobrovskogo. — Moskva: Nauka, 1969. — 119 s. — In Russian.

5. Bely`j, V. A. Ob issledovanii processa perenosa pri trenii polimerov / V. A. Bely`j [i dr.] // Mexanika polimerov. — 1971. — # 4. — S. 750—752. — In Russian.

6. Bely`j, V. A. Problema sozdaniya kompozicionny`x materialov i upravlenie ix frikcionny`mi svojstvami / V. A. Bely`j // Trenie i iznos. — 1982. — T. 3. — # 3. — S. 389—395. — In Russian.

7. Bely`j, V. A. K voprosu o mexanizme treniya napolnenny`x polimerov / V. A. Bely`j, B. I. Kupchinov // O prirode treniya tvyordy`x tel: sb. st. — Minsk: Nauka i texnika, 1971. — S. 190—197. — In Russian.

8. Bilik, Sh. M. Pary` treniya metall — plastmassa v mashinax i mexanizmax / Sh. M. Bilik. — Moskva: Mashinostroenie, 1966. — 311 s. — In Russian.

9. Bilik, Sh. M. Vliyanie napravleniya stekaniya e`lektricheskix zaryadov, obrazuyushhixsya pri trenii, na iznos metallopolimernoj pary` / Sh. M. Bilik, V. P. Czurkan // Teoriya smazochnogo dejstviya i novy`e materialy`: sb. st. — Moskva: Nauka, 1985. — S. 222—224. — In Russian.

10. Kolesnikov, V. I. Teplofizicheskie processy` v metallopolimerny`x tribosistemax / V. I. Kolesnikov. — Moskva: Nauka, 2003. — 279 s. — In Russian.

11. Czurkan, V. P. E`lektricheskie yavleniya v uzlax treniya metall — plastmassa / V. P. Czur-kan // Plastmassy` v podshipnikax skol`zheniya: sb. st. — Moskva: Nauka, 1965. — S. 75—82. — In Russian.

12. Georgievskij, G. A. Issledovanie kinetiki e`lektrizacii pri skol`zhenii frikcionny`x plastmass po metallu / G. A. Georgievskij, L. A. Lebedev, E. M. Borozdinskij // E`lektricheskie yavleniya pri trenii, rezanii i smazke tvyordy`x tel. — Moskva: Nauka, 1973. — S. 12—20. — In Russian.

13. Kretinin, O. V. Sistema kontrolya rabotosposobnosti instrumentov pri tochenii / O. V. Kretinin, A. P. Elepin, A. R. Kvartalov // Vestnik mashinostroeniya. — 1984. — # 7. — S. 41—43. — In Russian.

14. Kukoz, F. I. Triboe`lektroximiya: ucheb. posobie / F. I. Kukoz, V. F. Kukoz. — Novocherkassk: UPCz «Nabla» YuRGTU (NPI), 2003. — 399 s. — In Russian.

15. Kizel`shtejn, V. Ya. Ximiko-mexanicheskaya obrabotka metallov / V. Ya. Kizel`shtejn. — Leningrad: Sudostroenie, 1969. — 154 s. — In Russian.

16. E`lektricheskie yavleniya pri trenii, rezanii i smazke tvyordy`x tel: sb. st. / pod red. V. A. Bobrovskogo. — Moskva: Nauka, 1973. — 147 s. — In Russian.

17. Prejs, G. A. E`lektroximicheskie yavleniya pri trenii metallov / G. A. Prejs, A. G. Dzyub // Trenie i iznos. — 1980. — T. 1. — # 2. — S. 217—235. — In Russian.

18. Garkunov, D. N. Izbiratel`ny`j perenos v uzlax treniya / D. N. Garkunov, I. V. Kragel`skij, A. A. Polyakov. — Moskva: Transport, 1969. — 103 s. — In Russian.

19. Kuzharov, A. S. Triboximiya izbiratel`nogo perenosa: avtoref. dis. … d-ra texn. nauk / A. S. Kuzharov. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1991. — 42 s. — In Russian.

20. Triboe`lektroximiya e`ffekta bezy`znosnosti. Vliyanie treniya na e`lektroximicheskie xarakteristiki frikcionnogo kontakta v nachal`noj stadii izbiratel`nogo perenosa / A. S. Kuzharov [i dr.] // Trenie i iznos. — 1998. — T. 19. — # 1. — S. 80—89. — In Russian.

21. Triboe`lektroximiya e`ffekta bezy`znosnosti. Mexanizm formirovaniya granichny`x sloyov na stali v samoorganizuyushhejsya tribologicheskoj sisteme «med` — glicerin — stal`» / A. S. Kuzharov [i dr.] // Trenie i iznos. — 1998. — T. 19. — # 6. — S. 768—778. — In Russian.

22. Shpen`kov, G. P. Fiziko-ximicheskie processy` treniya (primenitel`no k izbiratel`nomu perenosu i vodorodnomu iznosu) / G. P. Shpen`kov. — Minsk: Izd-vo BGU, 1978. — 208 s. — In Russian.

23. Polyakov, A. L. Issledovanie vodorodnogo iznosa / A. L. Polyakov, Yu. S. Simakov. — Moskva: Nauka, 1977. — 84 s. — In Russian.

24. Evdokimov, V. D. E`kzoe`lektronnaya e`missiya pri trenii / V. D. Evdokimov, Yu. I. Syo-mov. — Moskva: Nauka, 1973. — 280 s. — In Russian.

25. Ry`zhkin, A. A. Vliyanie plasticheskoj deformacii na teplovoj rezhim zony` treniya / A. A. Ry`zhkin, A. N. Filipchuk // Progressivny`e metody` termicheskogo uprochneniya v traktornom i sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: sb. nauch. st. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1980. — S. 87—89. — In Russian.

26. Dubinin, A. D. Trenie i iznos v detalyax mashin / A. D. Dubinin. — Moskva: Mashgiz, 1952. — 121 s. — In Russian.

27. Dubinin, A. D. E`nergetika treniya i iznosa detalej mashin / A. D. Dubinin. — Moskva: Kiev: Mashgiz, 1963. — 137 s. — In Russian.

28. Gordienko, P. L. O vliyanii e`lektricheskogo toka na iznos pri trenii metallicheskix tel / P. L. Gordienko, S. L. Gordienko // Vestnik mashinostroeniya. — 1952. — # 7. — S. 23—25. — In Russian.

29. Simpson, F. F. Vliyanie magnitny`x polej i e`lektricheskix tokov na povrezhdenie sharikovy`x podshipnikov / F. F. Simpson, R. V. Rassel // Mezhdunar. konf. po smazke i iznosu mashin. — Moskva: Mashgiz, 1962. — In Russian.

30. Galej, M. T. Issledovanie materialov i geometrii rezhushhix instrumentov na osnove termoe`lektricheskix yavlenij pri rezanii i trenii / M. T. Galej // Osnovny`e napravleniya i perspektivy` razvitiya texnologii priborostroeniya: sb. st. — Moskva: ONTIPRIBOR, 1964. — S. 223—227. — In Russian.

31. Korshunov, L. G. Vliyanie e`lektrizacii i maly`x postoyanny`x tokov na iznos metallov pri trenii skol`zheniya / L. G. Korshunov, R. I. Mincz // Fiziko-ximicheskaya mexanika materialov. — 1967. — T. 3. — # 4. — S. 392—396. — In Russian.

32. E`lektroximicheskie processy` pri trenii i ix ispol`zovanie dlya bor`by` s iznosom: mat-ly` vsesoyuz. konf. — Odessa, 1973. — 280 s. — In Russian.

33. Izbiratel`ny`j perenos pri trenii i ego e`konomicheskaya e`ffektivnost`. — Moskva: MDNTP im. Dzerzhinskogo, 1972. — 252 s. — In Russian.

34. Gluzskij, Ya. L. Vliyanie triboe`lektricheskix yavlenij na rabotosposobnost` samosmazy`vayushhixsya kompozicij na osnove kobal`ta / Ya. L. Gluzskij // Problemy` treniya i iznashivaniya. — 1976. — # 10. — S. 64—68. — In Russian.

35. Avakov, A. A. Issledovanie e`ffektov povy`sheniya iznosostojkosti tverdosplavny`x rezhushhix plastinok / A. A. Avakov, Yu. S. Dubrov, G. S. Nikolaeva // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. — 1965. — # 3. — S. 55—58. — In Russian.

36. Ry`zhkin, A. A. Termodinamicheskie osnovy` povy`sheniya iznosostojkosti instrumental`ny`x rezhushhix materialov: dis. … d-ra texn. nauk. — Kiev, 1985. — 452 s. — In Russian.

ON FRICTIONAL ELECTRIC PHENOMENA

A. A. Ryzhkin, V. E. Burlakova
(Don State Technical University)

The literature data and the authors' integrated study results of the electric processes in the frictional contact zone are generalized.
Keywords: *friction, wear, contact electrification, electrochemical and electrokinetic phenomena, triboelectric effects.*

УДК 620.193.1:621.165.51:669.018

Прогнозирование эрозионного износа титановых сплавов в условиях длительного каплеударного воздействия

В. Н. Варавка, О. В. Кудряков, А. Ф. Медников
(Донской государственный технический университет)

На основе сравнительного анализа данных стендовых испытаний образцов, изготовленных из титанового сплава ТС-5, построена аппроксимационная модель для определения величины износа рабочих лопаток паровых турбин в условиях длительной эксплуатации при каплеударной эрозии.
Ключевые слова: *каплеударная эрозия, усталость металла, износ, лопатки турбин, титановый сплав, аппроксимация, моделирование.*

Введение. Исследованию эрозионного износа лопаток паровых турбин посвящено множество научных публикаций. Однако среди них очень непросто обнаружить исследования прогностического плана, которые моделировали бы поведение материала лопаток при длительных сроках эксплуатации [1—6]. Трудность построения расчётных оценочных моделей обусловлена рядом обстоятельств, главным из которых является большое число параметров, которые влияют на износ и которые необходимо учитывать при моделировании. Среди параметров, формирующих износ лопаточного аппарата, такие разнородные характеристики, как конструктивные особенности и режим работы турбины, наличие и устойчивость жидких плёнок на различных элементах проточной части турбин, включая поверхности лопаток, геометрия лопаток, кинетические параметры двухфазного потока, состав и дисперсность жидкой фазы потока и её распределение по поверхности лопатки, структура и свойства материала лопаток. Следует также добавить такие трудно поддающиеся учёту динамические явления, как вибрация, динамические напряжения в конструкции, постоянно меняющийся рельеф разрушающихся функциональных поверхностей. Дополнительная сложность заключена в том, что эмпирические данные об износе лопаток мощных паровых турбин не находятся в свободном доступе. Их можно получить только при плановых осмотрах и ремонтах турбин, промежутки между которыми составляют достаточно длительные сроки, регламентированные нормативными документами Минэнерго.

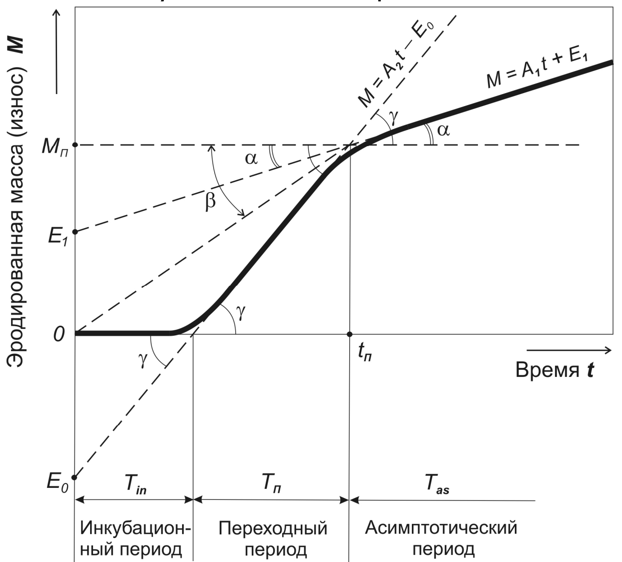


Рис. 1. Общий вид кривой эрозионного износа и её основные параметры

При перечисленных сложностях основным источником опытных данных по каплеударной эрозии служат обычно стендовые испытания специальных образцов. Результатом таких испытаний является кривая эрозионного изнашивания, типичный вид которой приведён на рисунке 1.

Каплеударный эрозионный износ имеет три характерных периода: инкубационный, переходный и асимптотический. При относительно небольшом количестве ударов капель, которое возможно получить на стенде, каждый из них является практически линейным. Если для инкубационного и переходного периодов линейное приближение вполне корректно [7—9], то данные по длительной эксплуатации лопаток показывают, что кривая износа на асимптотической стадии далека от линейной. Каплеударный эрозионный износ формируется под действием локальных циклических ударных нагрузок, поэтому в значительной степени является усталостным процессом и описывается сложной степенной функцией [10—12]. В силу этого обстоятельства, а также из-за специфики проведения испытаний (фронтальный характер соударений, фиксированный размер капли, плоская поверхность образцов и т. д.) и ограниченного ресурса времени работы испытательного стенда, которое не превышает нескольких часов, по полученным кривым износа трудно делать прогнозы о долгосрочном износе лопаток.

Таким образом, *цель настоящей работы* может быть определена как построение модели для оценки эрозионного износа материала лопаток при длительной эксплуатации (десятков тыс. часов) на основе данных стендовых испытаний образцов из этих материалов. Причём из множества приведённых ранее параметров, формирующих износ, модель основывается на свойствах материала и параметрах соударений. Наиболее корректным её использованием представляется сравнительная оценка износа различных материалов по отношению к наиболее типичному материалу, эрозионный износ которого принимается за единицу.

Экспериментальная часть. Для испытаний использовали образцы особой грибовидной формы из титанового сплава ТС-5 (в двухфазном $\alpha+\beta$-состоянии с твёрдостью 2565 МПа). Каплеударная эрозия моделировалась на уникальном эрозионном стенде НИУ-МЭИ «Эрозия-М» [7] в виде воздействия на образец монодисперсного водно-капельного потока, схема которого показана на рис. 2. Параметрами соударения капель с мишенью (поверхностью образца) являются диаметр d_k (или радиус R) капли и скорость образца V_0.

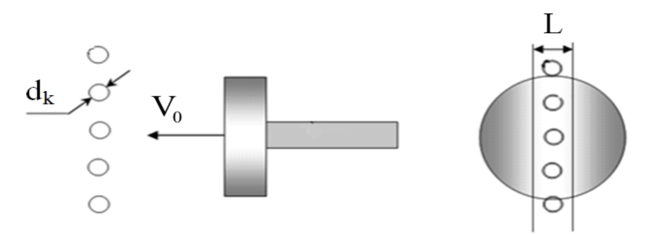


Рис. 2. Схема взаимодействия образцов с каплями жидкости: L — ширина эрозионного следа-дорожки

Результаты проведённых испытаний представлены на рисунке 3 в виде кривых эрозионного изнашивания. Величины, расположенные по осям абсцисс на графиках, характеризуют интенсивность воздействия капель эродента (воды), выраженную в различных взаимопереводимых единицах. Аналогичным образом по осям ординат расположена по-разному выраженная интенсивность износа образцов. Важным результатом экспериментов является то, что переходный и асимптотический периоды эрозионного износа характеризуются каждый своим семейством линий, начинающихся в собственном «полюсе» — E_0 для переходного и E_1 для асимптотического периодов, а скорость изнашивания, характеризуемая наклоном соответствующей линии к оси абсцисс, определяется параметрами соударения V_0 и d_k. При этом положение каждого из «полюсов» E_0 и E_1 определяется структурой и свойствами материала [13, 14].

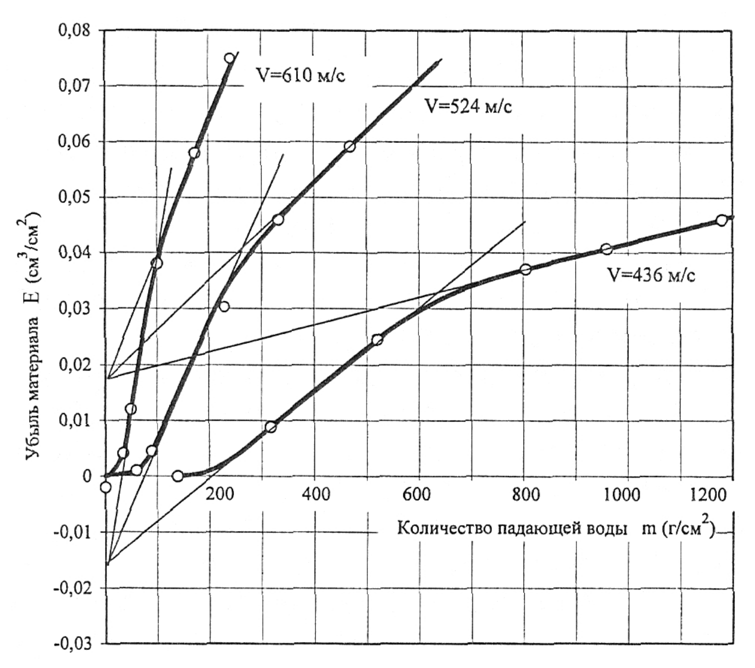


Рис. 3. Зависимости каплеударного эрозионного износа образцов титанового сплава ТС-5 по данным стендовых испытаний при d_k = 270 мкм и $V \equiv V_0$

Аналитическая часть. В общем виде закон ударно-усталостного изнашивания обычно выражается в дифференциальной форме [10]:

$$dW = (\partial W / \partial N) \cdot dN + (\partial W / \partial \sigma) \cdot d\sigma \quad (1)$$

где W — объёмный износ (в дальнейшем экспериментальные значения объёмного износа обозначаются буквой E, а расчётные — буквой W); σ — нормальное напряжение; N — число циклов.

Если износ не зависит от геометрии контакта, то правая часть уравнения (1) становится малой. Линейная зависимость W от N имеет место, например, при ударно-абразивном изнашивании [11]. В более общем случае эта зависимость нелинейна [10, 12]:

$$W = k \cdot N^n \cdot \sigma^m \quad (2)$$

где k, n, m — коэффициенты.

Нормальное напряжение σ (как и максимальное контактное давление) определяется максимальной силой удара P_m, которая в свою очередь зависит от скорости соударения V_0, геометрии контакта и свойств материала.

Максимальная контактная нагрузка P_m в зоне соударения определяется по Эвансу [15] из выражения, фактически эквивалентного кинетической энергии капли:

$$P_m = 0,5 \cdot \pi \cdot V_0^2 \cdot R^2 \cdot \rho \quad (3)$$

Для вычисления давления, развиваемого силой P_m на поверхности материала в пределах площади контакта капли, отнесём P_m к площади среднего сечения капли $S = \pi \cdot R^2$. Получим соответствующее напряжение на поверхности материала Q_m в момент соударения:

$$Q_m = 0,5 \cdot V_0^2 \cdot \rho \quad (4)$$

Ранее уже говорилось, что полностью описать какую-либо кривую эрозии (из представленных на рисунках 1 или 3) с помощью одной математической функции невозможно, поэтому каждую стадию эрозии необходимо рассматривать по отдельности и для каждой определить свою функцию.

1. _Для инкубационной стадии_ примем следующую усталостную модель: под действием давления, развиваемого каждой каплей Q_m, происходит микропластическая деформация или даже (возмож-

но) образуется радиальная субмикротрещина длиной l_R; она имеет размер, не превышающий линию Френча на кривой усталости данного материала; каждый удар капли по гипотезе Пальмгрена — Майнера накапливает деформацию, напряжения и увеличивает трещину; в какой-то момент это приводит к зарождению боковой трещины l_L; к моменту начала эрозионного износа T_{in} (окончание инкубационной стадии; см. рисунок 1) должна сформироваться боковая трещина критического размера $l_L = l_C$, вызывающая разрушение в виде дискообразного фрагмента — первой частицы износа объёмом V_i (для хрупких материалов типа стекла эта частица может иметь форму конуса Герца); количество циклов нагружения (ударов капли) к этому моменту известно — это количество эродента T_{in} на графике, [кг/м^2], соответствующее началу процесса потери массы при соответствующем значении V_0. Чтобы выразить T_{in} в числе циклов усталостного нагружения N_e (то есть в числе капель, попавших в одну точку к моменту T_{in}) и тем самым окончательно перейти на язык моделей усталости и циклического нагружения, воспользуемся выражением:

$$N_e := \frac{3 \cdot T_{in}}{4 \cdot \rho \cdot R} \tag{5}$$

Экспериментальные (из рисунка 3) и расчётные (по выражениям, приводимым далее в тексте) значения характерных точек всех кривых изнашивания сплава ТС-5, сведены в таблицу 1 (см. далее).

Известно, что любая кривая усталости в логарифмических координатах lg σ — lg N представляет собой наклонную прямую (линейная функция), в том числе и *линия начала эрозионного износа* T_{in}. В логарифмических координатах для определения такой функции достаточно знать координаты двух точек, через которые она проходит. С другой стороны, в линейных координатах σ — N функция является степенной (см. выражение (2)). То есть, зная координаты двух точек каждой кривой износа, можно определить показатель наклона m_e линии начала эрозионного износа T_{in} на графике усталости (т. е. при износе E = 0 см^3/см^2 для различных значений V_0 на рисунке 3).

Так, показатель наклона m_e линии начала эрозионного износа T_{in} на диаграмме усталости можно рассчитать по выражению (6), где (σ_e, N_e) — координаты точки на кривой усталости (для определения m_e необходимо знать координаты, как минимум, двух таких точек, рисунок 3 даёт нам три таких точки — для каждого значения V_0, а в качестве σ_e принимается значение Q_m для соответствующего V_0):

$$m_e := \frac{\lg\left(\frac{N_{e1}}{N_{e2}}\right)}{\lg\left(\frac{\sigma_{e2}}{\sigma_{e1}}\right)} \tag{6}$$

Вычисления дают следующее значение <u>*показателя наклона линии начала эрозионного износа*</u> T_{in} на диаграмме усталости титанового сплава ТС-5: m_e = 2,75. Тогда сама линия напряжений начала износа σ_{eF} в зависимости от количества циклов нагружения N_e будет задана выражением:

$$\sigma_{eF}\left(N_e\right) := 10^{\Omega(N_e)},$$

где

$$\Omega\left(N_e\right) := \lg\left(\sigma_{eR}\right) - \frac{\lg\left(\frac{N_e}{N_{eR}}\right)}{m_e} \tag{7}$$

где N_{eR} = 3,3 · 10^5 — предельное число циклов <u>*малоциклового*</u> нагружения, в пределах которого применима данная расчётная модель для инкубационной стадии; σ_{eR} — значение предела капельно-ударной усталости, [МПа], оно соответствует <u>*минимальному*</u> значению внешнего на-

пряжения, необходимого для начала пластической деформации (для начала скольжения дислокаций под действием касательного напряжения τ^* в плоскости скольжения); для титана значение σ_{eR} составляет 28 МПа [16].

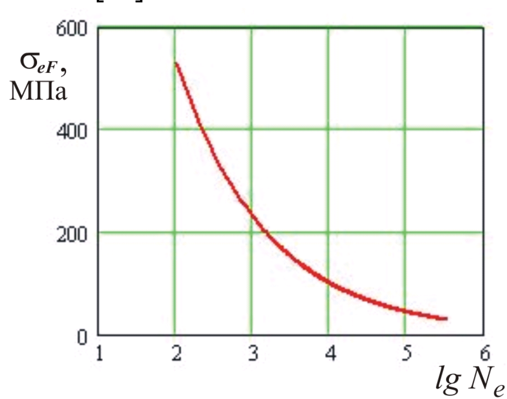


Рис. 4. Зависимость напряжений σ_{eF} начала эрозионного износа сплава ТС-5 в зависимости от количества циклов нагружения N_e (ударов капель)

Расчётный график линии старта эрозионного износа σ_{eF} показан на рисунке 4. График характерен тем, что при значении $N = 1$ (в точке пересечения графика с осью напряжений) даёт значение напряжения $\sigma_{eF} = 2826$ МПа, что соответствует уровню твёрдости сплава ТС-5 (измеренная твёрдость составляла $H = 2565$ МПа). На обычных кривых усталости (получаемых при испытаниях по методикам ГОСТ) эта точка соответствует обычно пределу прочности σ_B. Для эрозионного же износа получается значение почти в 3 раза выше σ_B, что вполне отвечает теоретическим положениям о поверхностном характере явлений эрозионного изнашивания и необходимости преодоления барьера напряжений уровня твёрдости материала для начала эрозионного износа.

Для определения начальной точки эрозионного износа, лежащей на горизонтальной оси $E = 0$ на рисунке 3, можно воспользоваться выражением (8), в соответствии с которым рассчитывается, сколько понадобится эродента, [кг/м^2], для того, чтобы стартовал процесс износа:

$$T_{in}(R,V_0) := \frac{4}{3} \cdot \rho \cdot R \cdot N_{eR} \cdot \left(\frac{\sigma_{eR}}{Q_m(R,V_0)} \right)^{m_e} \qquad (8)$$

где все значения уже определялись ранее, а T_{in} и Q_m выражены как функции от параметров соударения R и V_0.

То же самое можно определить в циклах нагружения (в количестве ударов капель, попавших в одну точку к моменту начала износа):

$$N_{in}(R,V_0) := N_{eR} \cdot \left(\frac{\sigma_{eR}}{Q_m(R,V_0)} \right)^{m_e} \qquad (9)$$

Как показывают расчётные данные, приведённые в таблице 1, выражение (8) обеспечивает высокую степень соответствия результатов расчёта с экспериментальными данными рисунка 3.

2. *Для асимптотической стадии* в соответствии с моделью *малоцикловой усталости* выполнены аналогичные (как и для инкубационной стадии) расчёты по определению показателя наклона кривых усталости.

Следует отметить, что, как свидетельствуют данные таблицы 1, кривые эрозионного износа, представленные на рисунке 3, практически полностью лежат в области малоциклового нагружения. Это объясняется тем, что они получены в лабораторных условиях на испытательном стенде. Рабочие же лопатки паровых турбин должны служить не один год, поэтому асимптотическая

стадия таких изделий должна рассчитываться по моделям многоцикловой усталости. Принципиальная разница состоит в том, что кривые износа в малоцикловой области близки к линейной функции (или к степенной, но с показателем степени, близким к единице), как это и следует из рисунка 3, а износ при многоцикловой усталости описывается степенной функцией с показателем, далёким от единицы (из-за чего, собственно, эта стадия и называется асимптотической).

Таблица 1

Числовые значения экспериментальных и расчётных параметров кривых эрозионно-капельного износа сплава ТС-5 (рис. 3, радиус капель R = 135 мкм)

Скорость соударения V_0, *м/с*	*610*	*524*	*436*
Напряжение удара $Q_m \equiv \sigma_e$, МПа	186	137	95
Окончание инкубационной стадии: расход эродента $T_{in} \equiv m_{in}$, г/см^2 (при E = 0 см^3/см^2)	32	75	203
То же в количестве соударений N_{in} при E = 0 см^3/см^2, циклов	1778	4166	11278
Начало асимптотической стадии: расход эродента $T_{AS} \equiv m_{AS}$, г/см^2	100	265	637
То же в числе соударений N_{AS}, циклов	5556	14722	35388
То же в потерях металла E_{AS}, см^3/см^2	0,04	0,013	0,03267
Переходная стадия: расход эродента $m_{0,02}$ при E = 0,02 см^3/см^2, г/см^2	62,5	162	458
То же в числе соударений $N_{0,02}$, циклов	3472	9000	25440
Асимптотическая стадия: расход эродента $m_{0,04}$ при E = 0,04 см^3/см^2, г/см^2	100	252	923
То же в числе соударений $N_{0,04}$, циклов	5556	14000	51280
Асимптотическая стадия: расход эродента $m_{0,044}$ при E = 0,044 см^3/см^2, г/см^2	121	330	1177
То же в числе соударений $N_{0,044}$, циклов	6722	18330	65390

Поэтому здесь мы рассматриваем асимптотическую стадию эрозионного изнашивания в соответствии лабораторными данными рисунка 3 на основе малоцикловой модели. Далее же, рассматривая эрозию рабочих лопаток, воспользуемся многоцикловой моделью (см. п. 4).

Итак, на базе малоцикловой модели по аналогии с методикой расчёта инкубационной стадии, рассмотренной выше, выполнены расчёты для трёх точек кривых эрозионного износа (по одной на каждой кривой рисунка 3), соответствующих значению износа материала E = = 0,04 см^3/см^2, и трёх точек при E = 0,044 см^3/см^2 (см. таблицу 1). Получено значение *показателя наклона линии асимптотической* стадии эрозионного износа в малоцикловой области на диаграмме усталости титанового сплава ТС-5: m_e = 3,38.

3. *Для эрозионной кривой на переходной стадии* используем *линейную аппроксимацию*, что для достаточно короткого участка, находящегося в малоцикловой области, вполне допустимо. В расчётной модели ставилась задача нахождения расчётным путём точки начала асимптотической стадии (значения T_{AS}, N_{AS}, m_{AS}, E_{AS} в таблице 1 и на рисунке 3). Поскольку эта точка для любой скорости соударений лежит в области малоцикловой усталости, она вычислялась как точка пересечения линейных аппроксимационных функций переходной и асимптотической стадий. Эти функции даны на рисунке 1, там они пересекаются в точке с координатами ($t_П$, $M_П$). В качестве расчётных выражений использованы:

- функция износа на переходной стадии в зависимости от числа соударений N_e:

$$W_P\left(N_e\right) := \frac{E_0}{N_{in}\left(R, V_0\right)} \cdot N_e - E_0 \qquad (10)$$

- то же на асимптотической стадии вблизи точки ($t_П$, $M_П$):

$$W_{ASL}\left(N_e\right) := \frac{E_0}{N_{in}\left(R, V_0\right) \cdot k_{dr}} \cdot N_e + E_1 \qquad (11)$$

где k_{dr} = tg γ / tg α — коэффициент дробления капель (углы γ и α см. на рисунке 1); величина N_{in} входит в выражения (10) и (11) как функция от параметров соударения (R, V_0); функция W эквивалентна E на рисунке 3; индекс L у функции W_{AS} означает линейную аппроксимацию.

Пример расчёта для значений R = 135 мкм; V_0 = 436 м/с; E_0 = 160 мкм; E_1 = 177 мкм; k_{dr} = = 3,07 представлен на рисунке 5. График показывает, что слева от точки пересечения эрозия развивается по линии переходной стадии *1*, а справа — по линии асимптотической стадии *2*.

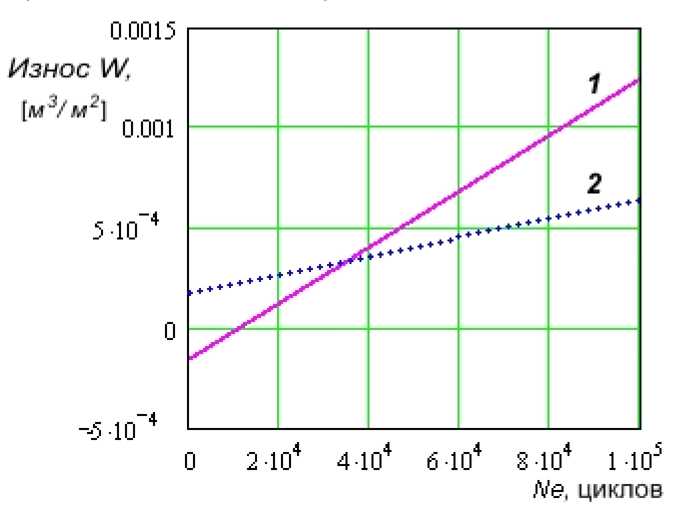


Рис. 5. Зависимость износа W, [м^3/м^2], сплава ТС-5 при скорости соударений V_0 = 436 м/с на переходной *1* и на асимптотической *2* стадиях эрозии от количества циклов нагружения N_e (ударов капель)

Точка начала асимптотической стадии при линейной аппроксимации эрозионной кривой представляет собой точку пересечения двух прямых переходной и асимптотической стадий на рисунке 5. Условием для нахождения этой точки является равенство W_p (N_e) = W_{ASL} (N_e), из которого находятся:

- абсцисса точки в циклах нагружения (в ударах капель):

$$N_{AS}\left(R,V_0\right) := N_{in}\left(R,V_0\right)\cdot\frac{1+\dfrac{E_1}{E_0}}{1-\dfrac{1}{k_{dr}}} \tag{12}$$

- абсцисса точки в единицах массы эродента, [кг/м^2]:

$$T_{AS}\left(R,V_0\right) := T_{in}\left(R,V_0\right)\cdot\frac{1+\dfrac{E_1}{E_0}}{1-\dfrac{1}{k_{dr}}} \tag{13}$$

Ордината точки находится простой подстановкой значения N_{AS}, полученного из выражения (12), в выражение (11) в качестве N_e. Так, для исходных данных, при которых получен график (5), точка начала асимптотической стадии имеет следующие расчётные координаты: N_{AS} = 35610 циклов; $T_{AS} \equiv m_{AS}$ = 6410 кг/м^2 = 641 г/см^2; $W_{ASL} \equiv V_{AS}$ = 3,4 · 10^{-4} м^3/м^2 = 0,034 см^3/см^2. Сравнение с данными таблицы 1 даёт высокую степень совпадений расчётных и экспериментальных значений.

Физическая сущность рассматриваемой точки начала асимптотической стадии состоит в формировании эрозионно-стойкого рельефа, приводящего к дроблению капель и замедлению скорости эрозии [13].

4. *Для асимптотической стадии* основная задача работы была сформулирована как нахождение математической функции для описания величины эрозионного износа в соответствии с моделью *многоцикловой усталости*. Сложность задачи состояла в том, чтобы единая функция максимально точно описывала как малоцикловой этап асимптотической стадии в районе точки ($t_П$, $M_П$) рисунка 1, так и многоцикловой этап в приближении к эксплуатационному пределу лопатки.

Линейная аппроксимация асимптотической стадии эрозии, которой мы воспользовались ранее (см. п. 2), возможна только на самом раннем этапе этой стадии, когда эрозия находится в малоцикловой области, например, в окрестности точки ($t_П$, $M_П$) рисунка 1. Это допущение мы и использовали при вычислении координат точки начала асимптотической стадии ($t_П$, $M_П$). Для прогнозирования многоцикловой эрозии рабочих лопаток линейная аппроксимация невозможна. В этом можно легко убедиться, просчитав потерю массы (или объёма) лопатки по выражению (11). Даже для минимального ресурса работы лопатки 50000 часов, предусмотренного ГОСТом (при рассматриваемых скоростях соударения V_0 = 250…613 м/с это составляет около 5,7 лет непрерывной работы), эрозионный износ, вычисленный по линейному закону, превышает толщину лопатки в несколько раз.

В результате исследований для прогнозирования износа титановых сплавов в модели многоциклового нагружения предложена следующая аппроксимационная функция для величины эрозионного износа W_{AS} в зависимости от количества соударений N_e (числа циклов нагружения):

$$W_{AS}\left(N_e\right) := \frac{E_1 \cdot \left(Q_m\left(R, V_0\right)\right)^{k_{dr}} \cdot N_e^{\frac{1}{m_{eAS}}}}{\sigma_{eR}^{k_{dr}} \cdot N_{eR}^{\frac{1}{m_{eAS}}}} - E_0 \qquad (14)$$

где все величины встречались ранее в тексте, пояснения требуют лишь m_{eAS} и N_{eR}; первая из них m_{eAS} = 3,38 — показатель наклона линии асимптотической стадии эрозионного износа в *малоцикловой* области на диаграмме усталости сплава ТС-5, был определён ранее (см. п. 2); N_{eR} = (2…3) $\cdot$ 10^{10} — предельное число циклов («база») *многоциклового* нагружения, в пределах которого применима данная расчётная модель для асимптотической стадии; в данном случае за «базу» принимается срок эксплуатации лопаток в 50000 часов непрерывной работы; величина N_{eR} встречалась в формуле (7), но там она представляла собой «базу» малоцикловой усталости.

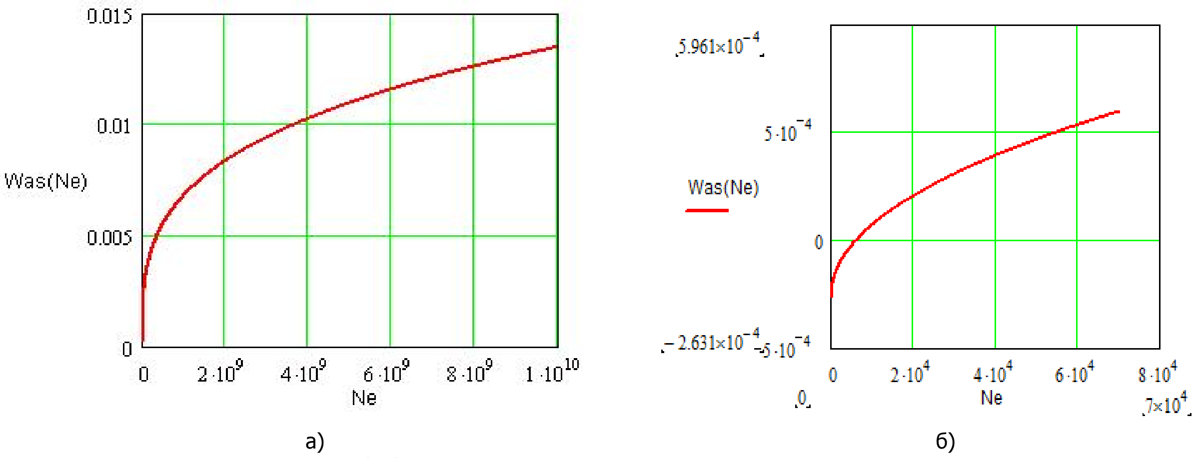
Аппроксимационная функция W_{AS} по выражению (14) определяет объём эродированного материала, [м^3/м^2], в зависимости от количества ударов капель N_e в предположении, что удаление материала происходит под циклическим действием напряжения Q_m, а глубина эрозионной повреждаемости определяется свойствами материала (E_0) и сформированным рельефом (E_1), который определяет степень дробления капель на асимптотической стадии (k_{dr}). Функция W_{AS} начинается в точке E_0 (в области отрицательных значений E), проходит максимально близко к точке начала асимптотической стадии (точка ($t_П$, $M_П$) на рисунке 1) и даёт устойчивую корреляцию с линейной функцией W_{ASL} в области малоциклового нагружения (т. е. в начале асимптотической стадии). Прогностическая функция W_{AS} не обеспечивает совпадения с кривой эрозионного изнашивания на начальных (инкубационной и переходной) стадиях, но хорошо коррелирует с эмпирическими данными износа лопаток при длительной эксплуатации.

В качестве расчётного примера на рисунке 6 представлена аппроксимационная функция W_{AS} сплава ТС-5, полученная для тех же исходных данных, что и функции W_P и W_{ASL} на рисунке 5.

В хорошем соответствии расчётных и экспериментальных результатов можно убедиться из сравнения данных рисунка 6 *б* и таблицы 1.

В заключение приведём результаты (см. рисунок 7) аппроксимации величины эрозионного износа сплава ТС-5 в районе точки начала асимптотической стадии (точка ($t_П$, $M_П$) на рисунке 1),

выполненные с помощью различных функций. Из сравнения графиков на рисунке 7 ясно, что для оценки величины эрозионного износа рабочих лопаток паровых турбин в пределах срока эксплуатации *линейная аппроксимация не годится* из-за непомерно высоких значений износа, получаемых при большом числе циклов нагружения. Линейные функции могут быть использованы только в области малоциклового нагружения (главным образом, для переходной стадии), степенная же аппроксимационная функция W_{AS} может быть рекомендована для прогнозирования эрозионного износа в многоцикловой области вплоть до ресурса лопаток 70…100 тыс. часов эксплуатации.



а) б)

Рис. 6. Зависимость износа W_{AS}, [м³/м²], от количества циклов нагружения N_e (ударов капель) на асимптотической стадии каплеударной эрозии сплава ТС-5 при скорости соударений V_0 = 436 м/с:
а — в интервале многоцикловой усталости; б — в пределах зоны малоцикловой усталости

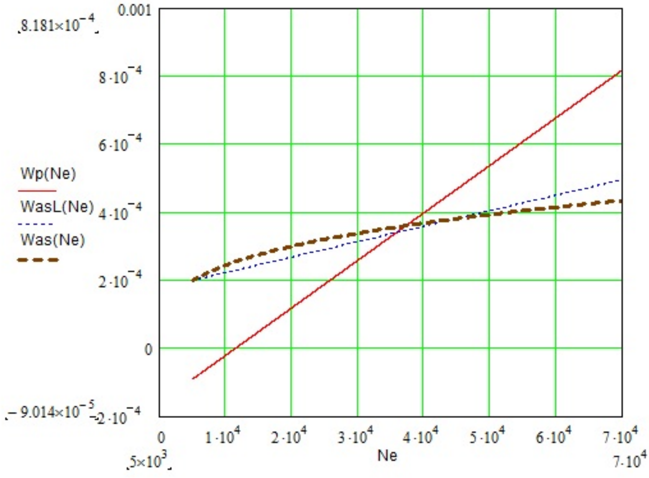


Рис. 7. Аппроксимация величины износа W, [м³/м²], сплава ТС-5 при скорости соударений V_0 = 436 м/с в условиях каплеударной эрозии с помощью различных функций: линейных W_P и W_{ASL} — для переходной и асимптотической стадий соответственно, а также сложной степенной функции W_{AS} — для асимптотической стадии

Заключение. Поставленная в работе цель реализована в виде аппроксимационной функции W_{AS}, позволяющей на основе усталостной модели с достаточной степенью точности определять износ материала турбинных лопаток при длительных сроках эксплуатации, опираясь на данные кратковременных стендовых испытаний. Задача решена в программной оболочке MathCAD, предназначенной главным образом для исследовательских целей. Для решения прикладных задач на базе выполненных исследований целесообразно методики стендовых эрозионных испытаний дополнить специализированной компьютерной программой по прогнозированию величины эрозионного

износа рабочих лопаток турбин при длительных сроках эксплуатации. В этом направлении в настоящее время авторы и продолжают свою работу.

Представленные результаты получены в рамках выполнения научно-исследовательских работ по Государственному контракту № 02.740.11.0813.

Библиографический список

1. Бараненко, В. И. Использование программных средств для расчёта эрозионно-коррозионного износа элементов оборудования трубопроводных систем АЭС / В. И. Бараненко, М. Б. Бакиров, Ю. А. Янченко и др. // Теплоэнергетика. — 2003. — № 11. — С. 21—24.

2. Варавка, В. Н. Закономерности и параметры каплеударной эрозии титановых сплавов / В. Н. Варавка, О. В. Кудряков, Ал. Ф. Медников, В. А. Ирха // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2011. — № 6. — С. 92—98.

3. Варавка, В. Н. Прочность и механизмы разрушения высокопластичных материалов при воздействии дискретного водно-капельного потока / В. Н. Варавка, О. В. Кудряков // Вестник ДГТУ. — 2011. — Т. 11. — № 8 (59). — Вып. 2. — С. 1376—1384.

4. Виноградов, В. Н. Изнашивание при ударе / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, А. Ю. Албагачиев. — М.: Машиностроение, 1982. — 192 с.

5. Дергачёв, К. В. Вычислительный комплекс для математического моделирования кинетики эрозионных процессов во влажнопаровых турбомашинах / К. В. Дергачёв, С. Р. Симонян, А. В. Лагерев // Математическое моделирование в научных исследованиях: Материалы Всероссийской научной конференции. — Ставрополь, 2000. — Ч. 1. — С. 194—197.

6. Дергачёв, К. В. Электронная система прогнозирования эрозии рабочих лопаток турбин атомных станций / К. В. Дергачёв // Изв. вузов. Ядерная энергетика. — 2001. — № 3. — С. 3—13.

7. Лагерев, А. В. Вероятностное прогнозирование эрозии в системах технической диагностики влажнопаровых турбомашин / А. В. Лагерев // Изв. РАН. Энергетика. — 1997. — № 2. — С. 134—143.

8. Поваров, О. А. Исследование эрозионного износа рабочих лопаток паровых турбин / О. А. Поваров, Б. Станиша, В. А. Рыженков // Теплоэнергетика. — 1988. — № 4. — С. 66—69.

9. Рыжов, Э. В. Контактирование твёрдых тел при статических и динамических нагрузках / Э. В. Рыжов, Ю. В. Колесников, А. Г. Суслов. — Киев: Наукова думка, 1982. — 172 с.

10. Селезнёв, Л. И. Эрозионный износ конструкционных материалов / Л. И. Селезнёв, В. А. Рыженков // Технология металлов. — 2007. — № 3. — С. 19—24.

11. Селезнёв, Л. И. Феноменология эрозионного износа материала конструкционных сталей и сплавов жидкими частицами / Л. И. Селезнёв, В. А. Рыженков, А. Ф. Медников // Теплоэнергетика. — 2010. — № 9. — С. 12—16.

12. Селезнёв, Л. И. Оценка длительности инкубационного периода эрозионного износа конструкционных материалов / Л. И. Селезнёв, В. А. Рыженков // Теплоэнергетика. — 2005. — № 4. — С. 61—63.

13. Томаров, Г. В. Моделирование физико-химических процессов эрозии-коррозии металлов в двухфазных потоках / Г. В. Томаров, А. А. Шинков // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7. — С. 7—17.

14. Фрост, Г. Дж. Карты механизмов деформации: пер. с англ. / Г. Дж. Фрост, М. Ф. Эшби. — Челябинск: Металлургия, 1989. — 328 с.

15. Engel, P. A. Impact Wear of Materials. — Amsterdam, Oxford, New-York: Elsevier Scientific publishing company, 1976. — 340 p.

16. Evans, A. G. Impact damage in brittle materials in the elastic-plastic response regime / A. G. Evans, M. E. Guiden, M. Rosenblatt // Proc. Roy. Soc., Lond., Ser. A. — 1978. V. 361. N 1706. P. 343—365.

Материал поступил в редакцию 01.12.2011.

References

1. Baranenko, V. I. Ispol`zovanie programmny`x sredstv dlya raschyota e`rozionno-korrozionnogo iznosa e`lementov oborudovaniya truboprovodny`x sistem AE`S / V. I. Baranenko, M. B. Bakirov, Yu. A. Yanchenko i dr. // Teploe`nergetika. — 2003. — # 11. — S. 21—24. — In Russian.

2. Varavka, V. N. Zakonomernosti i parametry` kapleudarnoj e`rozii titanovy`x splavov / V. N. Varavka, O. V. Kudryakov, Al. F. Mednikov, V. A. Irxa // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Texnicheskie nauki. — 2011. — # 6. — S. 92—98. — In Russian.

3. Varavka, V. N. Prochnost` i mexanizmy` razrusheniya vy`sokoplastichny`x materialov pri vozdejstvii diskretnogo vodno-kapel`nogo potoka / V. N. Varavka, O. V. Kudryakov // Vestnik DGTU. — 2011. — T. 11. — # 8 (59). — Vy`p. 2. — S. 1376—1384. — In Russian.

4. Vinogradov, V. N. Iznashivanie pri udare / V. N. Vinogradov, G. M. Sorokin, A. Yu. Albagachiev. — M.: Mashinostroenie, 1982. — 192 s. — In Russian.

5. Dergachyov, K. V. Vy`chislitel`ny`j kompleks dlya matematicheskogo modelirovaniya kinetiki e`rozionny`x processov vo vlazhnoparovy`x turbomashinax / K. V. Dergachyov, S. R. Simonyan, A. B. Lagerev // Matematicheskoe modelirovanie v nauchny`x issledovaniyax: Materialy` Vserossijskoj nauchnoj konferencii. — Stavropol`, 2000. — Ch. 1. — S. 194—197. — In Russian.

6. Dergachyov, K. V. E`lektronnaya sistema prognozirovaniya e`rozii rabochix lopatok turbin atomny`x stancij / K. V. Dergachyov // Izv. vuzov. Yadernaya e`nergetika. — 2001. — # 3. — S. 3—13. — In Russian.

7. Lagerev, A. B. Veroyatnostnoe prognozirovanie e`rozii v sistemax texnicheskoj diagnostiki vlazhnoparovy`x turbomashin / A. V. Lagerev // Izv. RAN. E`nergetika. — 1997. — # 2. — S. 134—143. — In Russian.

8. Povarov, O. A. Issledovanie e`rozionnogo iznosa rabochix lopatok parovy`x turbin / O. A. Povarov, B. Stanisha, V. A. Ry`zhenkov // Teploe`nergetika. — 1988. — # 4. — S. 66—69. — In Russian.

9. Ry`zhov, E`. V. Kontaktirovanie tvyordy`x tel pri staticheskix i dinamicheskix nagruzkax / E`. V. Ry`zhov, Yu. V. Kolesnikov, A. G. Suslov. — Kiev: Naukova dumka, 1982. — 172 s. — In Russian.

10. Seleznyov, L. I. E`rozionny`j iznos konstrukcionny`x materialov / L. I. Seleznyov, V. A. Ry`zhenkov // Texnologiya metallov. — 2007. — # 3. — S. 19—24. — In Russian.

11. Seleznyov, L. I. Fenomenologiya e`rozionnogo iznosa materiala konstrukcionny`x stalej i splavov zhidkimi chasticzami / L. I. Seleznyov, V. A. Ry`zhenkov, A. F. Mednikov // Teploe`nergetika. — 2010. — # 9. — S. 12—16. — In Russian.

12. Seleznyov, L. I. Ocenka dlitel`nosti inkubacionnogo perioda e`rozionnogo iznosa konstrukcionny`x materialov / L. I. Seleznyov, V. A. Ry`zhenkov // Teploe`nergetika. — 2005. — # 4. — S. 61—63. — In Russian.

13. Tomarov, G. V. Modelirovanie fiziko-ximicheskix processov e`rozii-korrozii metallov v dvuxfazny`x potokax / G. V. Tomarov, A. A. Shinkov // Teploe`nergetika. — 2002. — # 7. — S. 7—17. — In Russian.

14. Frost, G. Dzh. Karty` mexanizmov deformacii: per. s angl. / G. Dzh. Frost, M. F. E`shbi. — Chelyabinsk: Metallurgiya, 1989. — 328 s. — In Russian.

15. Engel, P. A. Impact Wear of Materials. — Amsterdam, Oxford, New-York: Elsevier Scientific publishing company, 1976. — 340 p.

16. Evans, A. G. Impact damage in brittle materials in the elastic-plastic response regime / A. G. Evans, M. E. Guiden, M. Rosenblatt // Proc. Roy. Soc., Lond., Ser. A. — 1978. V. 361. N 1706. P. 343—365.

PREDICTION OF TITANIUM ALLOYS EROSIVE WEAR UNDER LONG-TERM DROPLET-IMPACT EFFECT

V. N. Varavka, O. V. Kudryakov, A. F. Mednikov
(Don State Technical University)

The approximating model for the definition of the steam turbines blades wear rate under the continuous operation through the droplet-impact erosion is built on the ground of the comparative analysis of the stand test data of the titanium alloy samples.
Keywords: *droplet-impact erosion, fatigue of metal, wear, turbine blades, titanium alloy, approximation, modeling.*

УДК 631.31:62-338

Динамика и моделирование транспортно-технологических машин для сельского хозяйства

В. П. Жаров
(Донской государственный технический университет)

Изложены научные основы динамики и механико-математического моделирования транспортно-технологических машин для сельского хозяйства как нестационарных колебательных систем с переменными параметрами, с голономными и неголономными связями при нестационарных случайных возмущениях, что позволило на основе предложенного метода использования множителей Лагранжа в качестве выходных переменных динамических систем сельскохозяйственных машин представить последние в виде матриц и графов.
Ключевые слова: *динамика, моделирование, переменные параметры, голономные и неголономные связи, нестационарные случайные возмущения, множители Лагранжа, матрицы, графы.*

Введение. Обзор работ по теме исследования [1] показал, что транспортно-технологические машины для сельского хозяйства представляют в общем виде нестационарные стохастические динамические системы с сосредоточенными и распределёнными параметрами, с голономными и неголономными связями при детерминированных и случайных возмущениях.

Ввиду отсутствия общих методов моделирования этих систем, используем метод учёта дополнительно налагаемых голономных и неголономных связей и их реакций с использованием множителей Лагранжа в качестве выходных переменных динамических систем сельскохозяйственных машин, что позволит представить уравнения движения в матрично-операторной форме или в виде графа.

Динамика и моделирование сельскохозяйственных машин. Предлагаемая форма записи уравнений движения нестационарной колебательной системы с переменными массами, конфигурация которой определяется совокупностью S обобщённых координат q_m (m = 1, 2, ..., s), подчинённой r голономным нестационарным идеальным связям, описываемым уравнением $F_\mu = F_\mu(q_1, q_2, ..., q_s, t) = 0$ (μ = 1, 2, 3, ..., r), а также r^* неголономным нестационарным линейным идеальным связям, описываемым уравнениями вида $F_\nu = \sum_{m=1}^{s} \alpha_{\nu m} q'_m + \alpha_\nu = 0$, где ν = 1, 2, ..., r^*; $\alpha_{\nu m}$, α_ν — коэффициенты, зависящие от обобщённых координат и времени, полученных из общего уравнения механики переменных масс с использованием принципа затвердевания в лагранжевых координатах, имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{d^*}{dt}\left(\dfrac{\partial^* T}{\partial q'_m}\right) - \left(\dfrac{\partial^* T}{\partial q_m}\right) + \dfrac{\partial^* \Pi}{\partial q_m} + \dfrac{\partial^* \Phi}{\partial q'_m} - \sum_{\mu=1}^{r} \lambda_\mu \dfrac{\partial F \mu}{\partial q_m} - \sum_{\mu=1}^{r} \lambda_\nu \dfrac{\partial F \mu}{\partial q'_m} = f_m + \psi_m, \\ F_\mu = F_\mu\left(q_1, q_2, ..., q_s, t\right) = 0, \\ F_\nu = \sum_{m=1}^{s} \alpha_{\nu m} q'_m + \alpha_\nu = 0, (\nu = 1, 2, ..., r^*), \end{cases} \quad (1)$$

где T, Π — кинетическая и потенциальная энергия системы; Φ — диссипативная функция Релея; f_m — обобщённые активные силы; ψ_m — обобщённые реактивные силы; $\dfrac{\partial^*}{\partial q_m}$, $\dfrac{\partial^*}{\partial q'_m}$ — частные производные по указанным переменным при группе переменных, принятых за независимые; λ_μ, λ_ν — множители Лагранжа соответственно для голономных и неголономных связей.

В общем виде система уравнений (1) с учётом условия физической реализуемости системы в матричной форме записи для активных обобщённых сил записывается как:

$$[M(t)]\cdot[q''(t)]+[R(t)]\cdot[q'(t)]+[C(t)]\cdot[q(t)]=[L(t)]\cdot[f''(t)]+[P(t)]\cdot[f'(t)]+[D(t)]\cdot[f(t)] \quad (2)$$

где $[M(t)]$, $[R(t)]$, $[C(t)]$ — матрицы инерции, демпфирования и жёсткости системы соответственно; $[L(t)]$, $[P(t)]$, $[C(t)]$ — матрицы инерции, демпфирования и жёсткости возмущений соответственно; $[q(t)]$ — матрица-столбец выходных переменных системы; $[f(t)]$ — матрица-столбец входных переменных системы.

Аналогично записывается матричное уравнение для реактивных обобщённых сил.

Общий вид матричного уравнения (2) в компактной форме записи представлен на рис. 1.

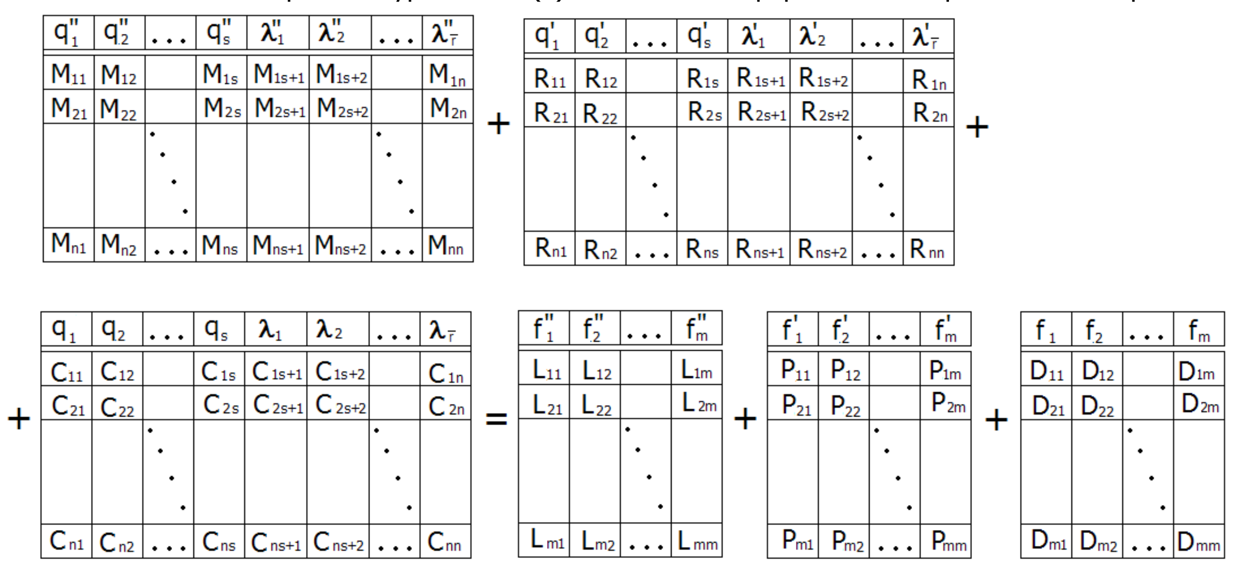


Рис. 1. Общий вид матричного уравнения движения нестационарной колебательной системы с голономными и неголономными связями в компактной форме записи (для упрощения записи аргумент времени везде опущен): q_1, q_2, …, q_s — обобщённые координаты; λ_1, λ_2, …, λ_{r*} — неопределённые множители Лагранжа для голономных и неголономных связей ($s + r^* = n$); M_{kl}, $L_{\mu\nu}$ — элементы инерционных матриц, R_{kl}, $P_{\mu\nu}$ — диссипативных матриц, C_{kl}, $D_{\mu\nu}$ — жёсткостных матриц

Матричное уравнение (2) практически не ограничивает число входных и выходных переменных системы. Однако при очень большом числе степеней свободы колебательной системы её анализ и синтез встречают значительные трудности. В связи с этим большой практический интерес представляют вопросы упрощения колебательных систем в смысле уменьшения числа степеней свободы.

С этой целью представим колебательную систему, описываемую матричным уравнением (2), в виде графа. Для этого используем основные положения теории графов [2, 3] и их связь с матричной формой записи уравнений движения рассматриваемой колебательной системы.

Как известно, линейной или приводящейся к линейной системе соответствует сигнальный, или ориентированный, граф, отражающий причинно-следственные связи между входными и выходными переменными (сигналами) системы. Вершины (узлы) этого графа соответствуют сигналам, а соединяющие их ветви (дуги) — коэффициентам передач ветвей. Применительно к рассматриваемым колебательным системам вершинам-источникам (независимым или свободным переменным) соответствуют входные возмущения и их производные, а зависимым (базисным) вершинам (вершинам-стокам и смешанным вершинам) — выходные переменные и их производные. Смешанным вершинам инцидентны как входящие, так и исходящие ветви. Минимальное количество смешанных вершин (содержащих максимальное количество входящих и исходящих ветвей),

при разрыве которых рвутся все контуры общего графа, называются существенными точками графа.

Отметим, что в зависимости от выбора существенных точек графа, для одного и того же матричного уравнения (или системы уравнений) можно построить множество равносильных графов.

Используя известные правила связи сигнальных графов с системами линейных и линеаризованных уравнений, представим колебательную систему, описываемую матричным уравнением (2) в виде графа. При этом в качестве существенных точек графа выберем вторые производные выходных переменных системы, а с целью простоты изображения исключим петли (замкнутые ветви, связывающие вершину саму с собой), то есть построим нормализованный сигнальный граф, общий вид которого представлен на рис. 2.

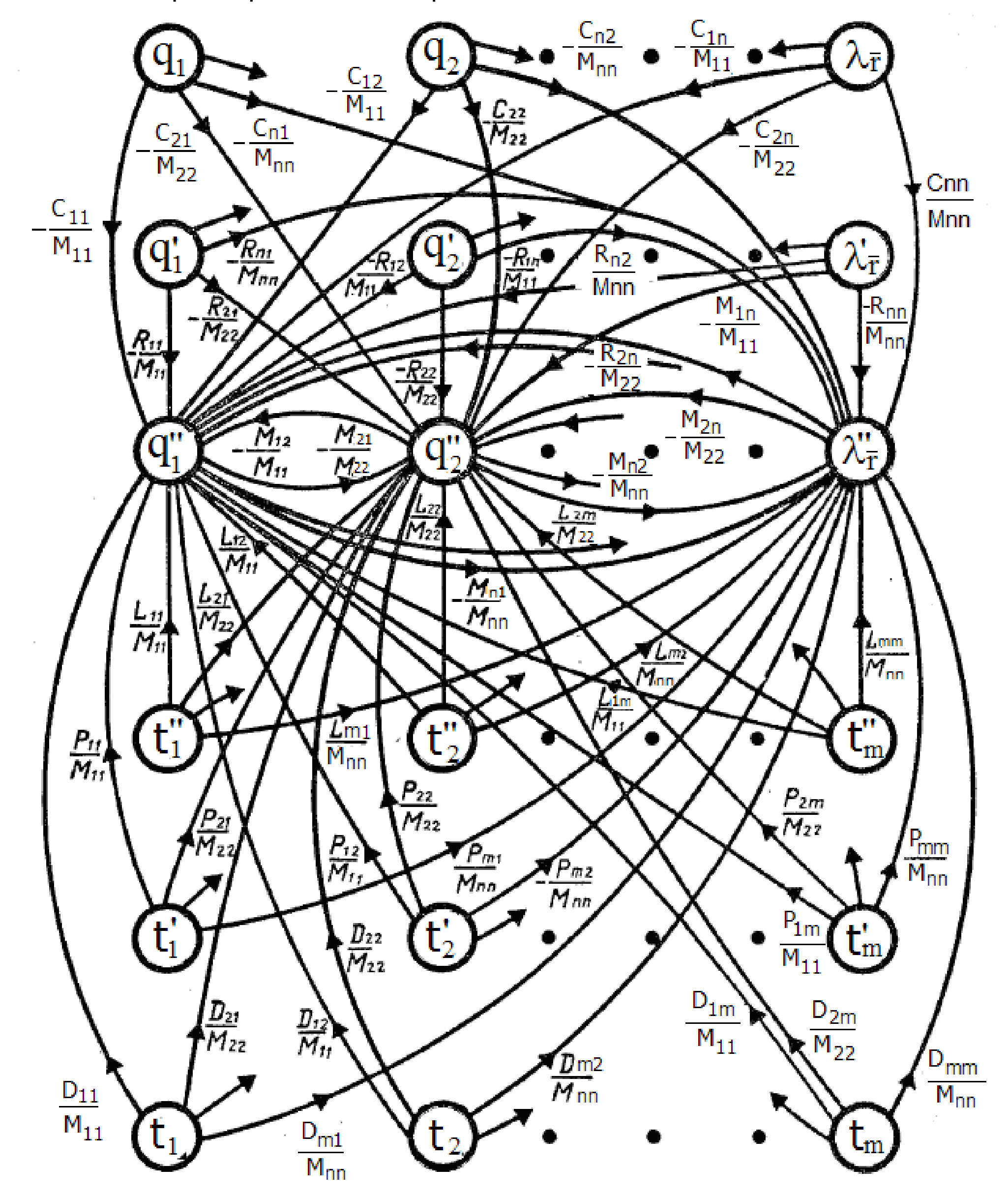


Рис. 2. Общий вид нормализованного сигнального графа нестационарной колебательной системы, матричное уравнение движения которой представлено на рис. 1

Заключение. Таким образом, математическое моделирование нестационарной динамической системы матричным уравнением типа (2) или соответствующим ему сигнальным графом позволяет решить вопросы как моделирования, так и упрощения этих колебательных систем.

Библиографический список

1. Жаров, В. П. Планирование виброизмерений для оценки некоторых параметров и класса колебательных систем сельскохозяйственных машин / В. П. Жаров // Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства. — Ростов-на-Дону, 1975. — С. 145—153.

2. Оре, О. Теория графов / О. Оре. — Москва: Наука, 1980. — 336 с.

3. Сучилин, А. М. Применение направленных графов к задачам электротехники / А. М. Сучилин. — Ленинград: Энергия, 1971. — 104 с.

Материал поступил в редакцию 09.12.2011.

References

1. Zharov, V. P. Planirovanie vibroizmerenij dlya ocenki nekotory`x parametrov i klassa kolebatel`ny`x sistem sel`skoxozyajstvenny`x mashin / V. P. Zharov // Kompleksnaya mexanizaciya i avtomatizaciya sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva. — Rostov-na-Donu, 1975. — S. 145—153. — In Russian.

2. Ore, O. Teoriya grafov / O. Ore. — Moskva: Nauka, 1980. — 336 s. — In Russian.

3. Suchilin, A. M. Primenenie napravlenny`x grafov k zadacham e`lektrotexniki / A. M. Suchilin. — Leningrad: E`nergiya, 1971. — 104 s. — In Russian.

DYNAMICS AND MODELING OF TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINES FOR AGRICULTURE

V. P. Zharov
(Don State Technical University)

The scientific basis for the dynamics and mechanical-mathematic simulation of the transport technological machines for agriculture as the multivariable oscillatory systems with holonomic and nonholonomic constraints under the non-stationary random perturbations is described. It has permitted to represent the output variable dynamic systems of the agricultural machines, on the ground of Lagrange multiplier me-thod, in matrices and graphically.

Keywords: *dynamics, modeling, variables, holonomic and nonholonomic constraints, non-stationary random disturbances, Lagrange multipliers, matrices, graphs.*

УДК 621.785.51.06

Сравнительный анализ методов ускорения поверхностного легирования в порошковых средах

М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский, Ю. А. Корнилов
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены возможности ускорения процессов химико-термической обработки (ХТО) металлических изделий, осуществляемых с использованием порошковых насыщающих сред. Предложен способ ХТО, позволяющий интенсифицировать процесс образования диффузионного слоя и снизить энергетические затраты на его осуществление. Практическая апробация подтвердила целесообразность применения данного способа.
Ключевые слова: *химико-термическая обработка, порошковая насыщающая среда.*

Введение. Химико-термическая обработка (ХТО) является эффективным способом поверхностного упрочнения металлических изделий. Основной отличительной особенностью ХТО является сочетание термического и химического воздействия на обрабатываемый материал [1—3]. Если использование других методов поверхностного упрочнения (например, термических или механических) позволяет изменить только структуру приповерхностных микрообъёмов материала, то при ХТО в результате диффузионного насыщения изменяется химический и фазовый состав поверхности изделия. При этом образуются структуры, которые обладают свойствами, существенно отличающимися от исходных свойств материала изделия, что обеспечивает ему повышение твёрдости, износостойкости, коррозионной стойкости, усталостной выносливости.

При проведении большинства процессов ХТО диффузионное насыщение осуществляется в газовых, твёрдых или жидких средах. Технологически наиболее простым и доступным в условиях мелкосерийного, ремонтного и индивидуального производства является насыщение в твёрдых средах.

Стандартный процесс ХТО предусматривает использование порошковых насыщающих сред, которые помещают в металлические контейнеры вместе с упрочняемыми изделиями. Контейнеры после герметизации загружают в термическую печь, нагретую до температуры процесса ХТО, и выдерживают, как правило, десятки часов до получения требуемой толщины диффузионного слоя. Так осуществляются процессы цементации, хромирования, алитирования, комплексного термодиффузионного насыщения [1—3].

Постановка задачи. Классические способы ХТО с применением порошковых насыщающих сред позволяют получить качественный диффузионный слой необходимой глубины, однако отличаются низкой скоростью его формирования, а также значительной энергоёмкостью вследствие длительности процесса ХТО. Поэтому предлагаются новые, более эффективные и менее энергоёмкие процессы ХТО, с использованием порошковых насыщающих сред. В настоящей работе поставлена задача анализа результатов ряда публикаций по данному вопросу и определение на этой основе направления дальнейших исследований.

Результаты анализа и их обсуждение. Одним из направлений развития процессов поверхностного упрочнения можно считать проведение ХТО в кипящем порошковом слое [3, 4]. В этом методе используется специфическое состояние порошка мелкозернистого материала, приобретающего при определённых условиях ряд свойств, присущих жидкостям, таких как текучесть и интенсивное перемешивание частиц в объёме, что позволяет им растекаться по поверхностям обрабатываемого изделия, попадать в углубления и отверстия. Различают два способа достижения такого состояния порошка. Первый способ — аэродинамический, при котором осуществляется продувание мелких частиц газовыми потоками, подающимися в реактор снизу вверх под определённым

давлением с целью создания кипящего слоя, при этом скорость потока должна быть достаточной для поддержания частиц во взвешенном состоянии в течение всего процесса насыщения. При реализации этого способа используется один, обычно инертный, газ (азот, аргон) или смесь инертного газа с газом-носителем (чаще водородом), который вносит в камеру пары активатора.

Второй способ — вибрационный, при котором контейнер с порошковой засыпкой подвергается вертикальным вибрациям определённой частоты и амплитуды. Регулирование параметров процесса насыщения осуществляется изменением состава и размера частиц порошковой среды, скорости подачи газовых потоков, интенсивности вибрации контейнера. Такой способ ХТО позволяет сократить общую продолжительность процесса обработки, однако используется редко из-за высоких энергетических затрат, вызванных необходимостью создания виброкипящего слоя, а также сложности как самого технологического процесса, так и используемого оборудования. Кроме того, следует учесть, что вибрация контейнера может существенно ухудшить условия труда на производстве. Так, рекомендуемая частота вибрации 10—15 Гц при реализации данного способа [4] относится к инфразвуковому диапазону частот и может вызывать болезненные последствия в организме человека, причём инфразвук слабо поглощается и поэтому способен распространяться на большие расстояния.

Другой способ ускоренного формирования диффузионного слоя в порошковых смесях предусматривает использование индукционного электронагрева [3]. Детали, подлежащие насыщению, вместе с порошковой засыпкой упаковывают в специальный контейнер и нагревают в многовитковом индукторе с помощью высокочастотного генератора. Способ позволяет достичь некоторого ускорения химических реакций в насыщающей среде и на поверхности обрабатываемых изделий под действием высокочастотного нагрева, чем авторы и объясняют интенсификацию процесса диффузионного насыщения. Однако он не нашёл широкого использования из-за таких недостатков, как то: сложность контроля температуры, невозможность обработки нескольких изделий одновременно, а также повышенная энергоёмкость, обусловленная необходимостью прогрева ТВЧ всего объёма насыщающей среды, контейнера и детали.

Заслуживает внимания способ диффузионного насыщения в токопроводящих порошковых средах [3]. Физической основой данного способа является способность насыщающих смесей разогреваться в процессе прохождения через них электрического тока. Как правило, такие смеси отличаются от обычных порошковых насыщающих смесей наличием в них наполнителей, обладающих высокой электропроводностью. В качестве таких токопроводящих наполнителей могут использоваться графит, электродная крупка, кокс, древесный уголь, медь. Данный способ предусматривает использование огнеупорного муфеля, в который помещены два электрода, расположенные с противоположных сторон муфеля. Обрабатываемое изделие располагают в средней части муфеля между электродами. Муфель засыпают порошковой насыщающей смесью и закрывают крышкой. На электроды подаётся электрическое напряжение. В местах контакта частиц смеси между собой и с поверхностью изделия возникают электрические микроразряды (микродуги), разогревающие весь объём токопроводящей смеси и обрабатываемую деталь. При таком способе обработки скорость диффузионного насыщения выше, чем в способе с использованием индукционного нагрева, но остаётся недостаточно высокой из-за необходимости нагревания всего объёма токопроводящей смеси, приводящей к тому же к высоким энергетическим затратам.

Развитием данного способа ХТО является способ диффузионного насыщения в виброкипящих электропроводных смесях, при котором нагрев изделий осуществляется пропусканием тока через порошковый токопроводящий материал — графит, находящийся в виброкипящем состоянии, достигаемом вибрацией контейнера и погружённого в него изделия [3]. В электрическую цепь включают два электрода, которые расположены по краям контейнера и погружены в порошковую среду, и заземлённое металлическое изделие. Способ позволяет достичь ускорения про-

цесса насыщения по сравнению с описанным ранее за счёт испарения и активации компонентов порошковой смеси, а также интенсификации диффузионных процессов, обусловленных влиянием микродуговых разрядов и электрического поля. Однако при реализации данного способа возможна неравномерность образующегося диффузионного слоя, обусловленная более сильным прогревом образца со сторон, обращённых к электродам. Кроме того, данный способ предполагает высокие энергетические затраты, вызванные необходимостью создания виброкипящего слоя, необходимость использования инертного газа либо вакуумирования контейнера, а вибрация контейнера, предусмотренная данным способом, как было показано выше, негативно влияет на здоровье персонала.

В то же время, по нашему мнению, сам принцип, лежащий в основе описанных способов диффузионного насыщения в токопроводящих порошковых средах, является весьма перспективным, что обусловлено очевидными преимуществами такой технологии: значительной интенсификацией процесса, возможностью формирования многокомпонентных покрытий, отсутствием необходимости использования печного оборудования.

На наш взгляд, наиболее перспективным является способ ХТО, описанный в работе [5]. Он предусматривает использование в качестве одного из электродов электродной системы металлического контейнера, копирующего форму обрабатываемого изделия, а в качестве другого электрода — самого обрабатываемого изделия, расположенного эквидистантно относительно контейнера. Преимущество данного способа заключается в том, что при таком расположении электродов площадь поверхности контейнера (одного электрода) значительно больше площади поверхности обрабатываемой детали (второго электрода), причём расстояние от стенок контейнера до поверхности детали является одинаковым. Этим обеспечивается равномерная плотность электрического тока на поверхности упрочняемого изделия и локализация микродуговых разрядов в ограниченном объёме вокруг упрочняемой поверхности изделия, что приводит к равномерному нагреву поверхности изделия и, следовательно, формированию равномерного диффузионного слоя. Данный способ не предусматривает механической вибрации контейнера, насыщающей среды и изделия, что снижает энергетические затраты и улучшает условия труда обслуживающего персонала, а также не требует использования инертного газа либо вакуумирования контейнера.

Полученные авторами результаты предварительных исследований данного способа ХТО для цементации стальных образцов [6] подтвердили состоятельность ожиданий. Было показано, что способ позволяет получать за несколько минут обработки глубину цементированных слоёв 0,2—0,3 мм и локализовать зону упрочнения в заданных участках поверхности обрабатываемых изделий.

Задачей дальнейших исследований является определение закономерностей диффузионных процессов в токопроводящих порошковых средах, а также разработка оптимальных технологических режимов поверхностной упрочняющей обработки.

Выводы. 1. Анализ современных методов ускорения химико-термической обработки показал, что наиболее перспективным направлением является диффузионное насыщение в электропроводных порошковых смесях, содержащих диффузант, путём пропускания электрического тока через порошковую среду и изделие.

2. Предложен новый способ ХТО в порошковых электропроводных смесях, лишённый недостатков прототипов. Способ предусматривает нагрев и диффузионное насыщение в порошковых смесях на базе горючих углеродных материалов типа каменного угля или кокса.

3. Способ отличается высокой скоростью формирования диффузионного слоя, низким энергопотреблением, гибкой системой управления локализацией упрочнённого слоя на поверхности изделия и возможностью получения многокомпонентного поверхностного покрытия.

Библиографический список

1. Борисёнок, Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисёнок, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин. — Москва: Металлургия, 1981. — 424 с.

2. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Смёткин. — Москва: Новое знание, 2010. — 304 с.

3. Домбровский, Ю. М. Микродуговая химико-термическая обработка в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии: междунар. науч.-практ. конф. в рамках VII Промышленного конгр. Юга России, 7—9 сентября 2011 г., г. Ростов-на-Дону: сб. тр.: науч. изд. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — 531 с. — С. 52—55.

4. Домбровский, Ю. М. Новые аспекты химико-термической обработки металлических материалов в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 8 (59), вып. 1.

5. Заваров, А. С. Химико-термическая обработка в кипящем слое / А. С. Заваров, А. П. Баскаков, С. В. Грачёв. — Москва: Машиностроение, 1985. — 160 с.

6. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. — Москва: Металлургия, 1985. — 256 с.

Материал поступил в редакцию 07.12.2011.

References

1. Borisyonok, G. V. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / G. V. Borisyonok, L. A. Vasil`ev, L. G. Voroshnin. — Moskva: Metallurgiya, 1981. — 424 s. — In Russian.

2. Voroshnin, L. G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoj obrabotki / L. G. Voroshnin, O. L. Mendeleeva, V. A. Smyotkin. — Moskva: Novoe znanie, 2010. — 304 s. — In Russian.

3. Dombrovskij, Yu. M. Mikrodugovaya ximiko-termicheskaya obrabotka v poroshkovy`x sredax / Yu. M. Dombrovskij, M. S. Stepanov // Innovacionny`e texnologii v mashinostroenii i metallurgii: mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkax VII Promy`shlennogo kongr. Yuga Rossii, 7—9 sentyabrya 2011 g., g. Rostov-na-Donu: sb. tr.: nauch. izd. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — 531 s. — S. 52—55. — In Russian.

4. Dombrovskij, Yu. M. Novy`e aspekty` ximiko-termicheskoj obrabotki metallicheskix materialov v poroshkovy`x sredax / Yu. M. Dombrovskij, M. S. Stepanov // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2011. — T. 11, # 8 (59), vy`p. 1. — In Russian.

5. Zavarov, A. S. Ximiko-termicheskaya obrabotka v kipyashhem sloe / A. S. Zavarov, A. P. Baskakov, S. V. Grachyov. — Moskva: Mashinostroenie, 1985. — 160 s. — In Russian.

6. Laxtin, Yu. M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu. M. Laxtin, B. N. Arzamasov. — Moskva: Metallurgiya, 1985. — 256 s. — In Russian.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCELERATION METHODS FOR SURFACE ALLOYING IN POWDERY

M. S. Stepanov, Y. M. Dombrovskiy, Y. A. Kornilov
(Don State Technical University)

The capabilities for accelerating the surface impregnation processes of the metal wear in the saturating powdery are considered. The surface impregnation technique that permits to intensify the diffusion coating formation and to reduce power consumption is offered. The practical approbation proved the applicability of the method.
Keywords: *surface impregnation, saturating powdery.*

УДК 621.791.75.01:537.523

Управление первоначальным зажиганием дуги при сварке в защитных газах

Е. Н. Варуха
(Донской государственный технический университет),
М. Х. Сундетов
(Астраханский государственный университет),
И. С. Морозкин
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Предложен способ управления первоначальным зажиганием сварочной дуги в защитных газах, основанный на ограничении тока короткого замыкания после нагрева проходящим током металла вылета проволоки до пластического состояния на время подхода места перегорания вылета на расстояние от изделия, не превышающее разрывную длину дуги. Экспериментально исследованы и аналитически определены зависимости, описывающие условия, необходимые и достаточные для надёжного установления процесса сварки после первого касания проволоки с изделием.
Ключевые слова: *управление первоначальным зажиганием дуги, сварка в защитных газах, сварочные проволоки разных марок.*

Введение. В соответствии с классификацией способов контактного первоначального зажигания дуги при сварке в защитных газах проволоками малого диаметра [1] одним из перспективных способов управления процессом является ограничение тока первоначального короткого замыкания на время, достаточное для перемещения места перегорания проволоки к поверхности изделия на расстояние, не превышающее разрывную длину дуги при заданных установках напряжения [2]. Несмотря на очевидные достоинства такого способа, он может не вполне отвечать предъявляемым к нему требованиям.

Так, время короткого замыкания при ограничении тока сильно затягивается по сравнению с естественным процессом. Кроме того, из-за неуправляемого искривления проволоки на вылете место её перегорания может располагаться то ближе, то дальше от поверхности изделия, что не обеспечивает 100 % установления процесса сварки после начального короткого замыкания проволоки с изделием. И, что особо неприемлемо, возможна полная потеря управляемости процессом при проскальзывании подающих роликов по проволоке при длительном её контакте с изделием.

Для устранения этих несовершенств в настоящей работе предложен новый подход к управлению процессом первоначального зажигания дуги, основанный на ранее не изученных особенностях нагрева вылета при первом коротком замыкании проволоки с изделием. Эти особенности выявляются при детальном рассмотрении изменения тока короткого замыкания $I_{кз}$ в процессе естественного короткого замыкания (рис. 1), в которых можно выделить две отчётливые фазы процесса.

Фазы процесса. Первая фаза длительностью $t_н$ наблюдается от начала короткого замыкания и до достижения током $I_{кз}$ своего максимального значения $I_{ун}$. Проволока в этой фазе остаётся неподвижной на вылете, поскольку, несмотря на нагрев проволоки проходящим током, она ещё продолжает сохранять свои упругие свойства. При этом продолжающаяся подача проволоки подающими роликами приводит к искривлению проволоки внутри ствола горелки или в канале направляющего шланга.

Вторая фаза длительностью $t = (t_{кз} - t_н)$ наступает в тот момент, когда металл вылета проволоки под действием нагрева проходящим током теряет свои упругие свойства, и проволока,

изгибаясь на вылете, начинает ускоренно выдвигаться из токоподводящего наконечника, выбирая образовавшийся в 1-й фазе изгиб проволоки в стволе горелки. В результате увеличения длины выдвигающейся проволоки на вылете и продолжающегося её нагрева проходящим током возрастает сопротивление на промежутке между токоподводящим наконечником и изделием, ток короткого замыкания в этой фазе снижается. Заканчивается 2-я фаза короткого замыкания перегоранием проволоки по элементу ограниченной длины Δx [1], который в 1-й фазе процесса находился в месте неподвижного токоподводящего контакта с наконечником горелки (рис. 2).

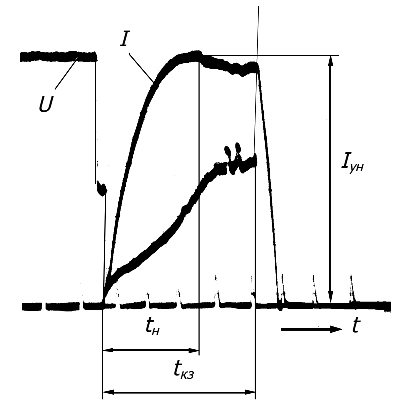


Рис. 1. Осциллограмма тока I и напряжения U при первоначальном коротком замыкании

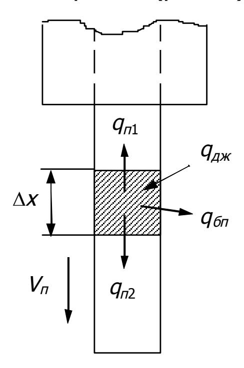


Рис. 2. Схема нагрева и потерь тепла в элементе вылета Δx при выдвижении проволоки из наконечника при коротком замыкании

Способ управления первоначальным зажиганием дуги. Основываясь на установленном явлении, стало возможным реализовать способ управления процессом, который свободен от выше перечисленных недостатков. Заключается он в том, что сразу по достижении током короткого замыкания величины $I_{ун}$ следует провести ограничение тока короткого замыкания до величины I_0 на время t_0 (рис. 3), за которое можно было бы приблизить элемент Δx к изделию на расстояние, не превышающее разрывную длину дуги при напряжении сварки.

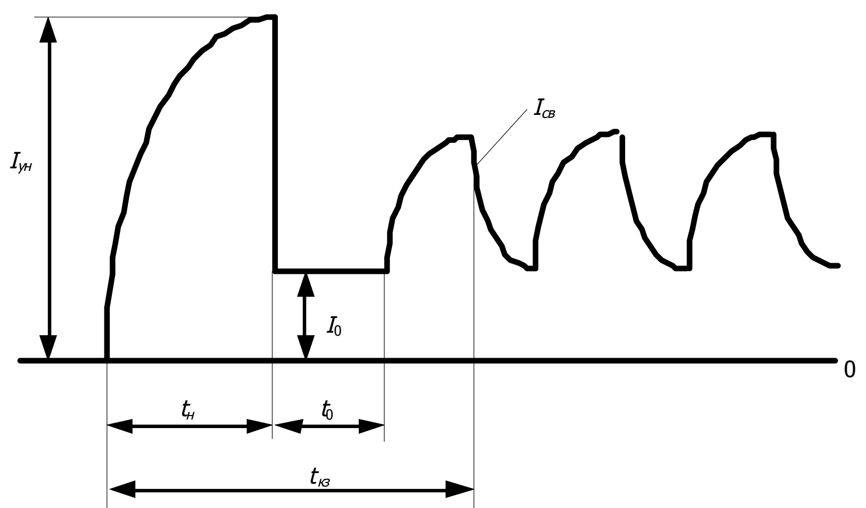


Рис. 3. Схема ускоренного способа зажигания дуги с ограничением тока короткого замыкания: I_0 и t_0 — ток и время ограничения; $I_{ун}$ — максимальное значение тока короткого замыкания перед началом ограничения тока

Если затем, по истечении времени t_0, снять ограничение тока короткого замыкания, то после перегорания проволоки по элементу Δx сразу же установится процесс сварки.

Исследование условий зажигания дуги и их аналитическое описание. Очевидно, что время ограничения тока короткого замыкания t_0 задаётся следующим неравенством:

$$\frac{h}{V_п} - t_н \geq t_0 \geq \frac{h - \ell_р}{V_п} - t_н\,, \tag{1}$$

где h и $V_п$ — вылет и скорость подачи сварочной проволоки, в м и м/с соответственно. Величина разрывной длины дуги $\ell_р$ принималась по расчётным данным работы [2].

Расчёт t_0 возможен, если будет известно время неподвижности электрода на вылете $t_н$ при коротком замыкании. Для его определения были рассмотрены закономерности нагрева вылета электрода в 1-й фазе короткого замыкания.

При нагреве проходящим током неподвижного вылета проволоки h за время $t_н$ происходит приращение энтальпии электродного металла на величину $\Delta H_в$ (Дж/кг), что может быть записано в виде:

$$\gamma F_э h \Delta H_в = \frac{h}{F_э}\int_0^{t_н} I_{кз}^2(t)\cdot\rho(t)\cdot dt\,, \tag{2}$$

где $F_э$ — площадь поперечного сечения электрода, м^2; γ — плотность электродного металла, кг/м^3; $\rho(t)$ — текущее значение удельного сопротивления металла вылета неподвижного электрода при коротком замыкании, Ом·м; $I_{кз}(t)$ — текущее значение тока короткого замыкания, А.

Выразим интеграл выражения (2) в следующем виде:

$$\int_0^{t_н} I_{кз}^2(t)\cdot\rho(t)\cdot dt = I_{ун}^2\cdot\rho'_ф\cdot t_н\,, \tag{3}$$

где $\rho'_ф$ — фиктивное постоянное удельное сопротивление элемента Δx за время $t_н$, которое могло бы быть, если бы ток короткого замыкания был постоянным, равным $I_{ун}$.

Решая совместно уравнения (2) и (3) относительно $t_н$, получаем:

$$t_н = \gamma\left(F_э/I_{ун}\right)^2 \Delta H_в/\rho'_ф\,. \tag{4}$$

Для вычисления $t_н$ по уравнению (4) необходимо знать величину отношения $\Delta H_в/\rho'_ф$. С целью определения этого отношения были проведены опыты по сварке током обратной полярности проволоками Св-08, Св-08Г2С, Св-06Х19Н9Т и Св-БрКМЦ3-1 различного диаметра. Исследования проводились в диапазоне скоростей подачи проволоки 100—500 м/ч и вылетов 15—40 мм. Для сварки использовали преобразователь ПСГ-500 с жёсткой вольт-амперной характеристикой. Регулировка тока короткого замыкания осуществлялась с помощью переменного резистора, включённого последовательно в сварочную цепь. Процесс первоначального зажигания дуги регистрировался с помощью скоростной киносъёмки (кинокамера СКС-1М) и синхронного осциллографирования (осциллограф Н-115). По полученным осциллограммам измерялись длительность $t_н$ и ток $I_{ун}$ первоначального короткого замыкания (рис. 4).

Обработка экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов (по программе Statistika) показала, что отношение $\Delta H_в/\rho'_ф$ является практически постоянной величиной, которая не зависит от тока процесса, скорости подачи, вылета и диаметра проволоки, а определяется исключительно свойствами металла сварочной проволоки (табл. 1).

Расчёт времени $t_н$ по формуле (4) с использованием значений, приведённых в табл. 1, показывает, что с увеличением $I_{ун}$ и диаметра проволоки время неподвижности проволоки на вылете $t_н$ уменьшается (рис. 4, *а*). Причём для материалов проволоки, имеющих меньшее удельное сопротивление, график функции $t_н = f\left(I_{ун}\right)$ при одинаковых токах $I_{ун}$ смещается в область больших значений времени $t_н$ (рис. 4, *б*).

Таблица 1

Расчётные значения отношения $\Delta H_в / \rho'_ф$, полученные при обработке экспериментальных данных

Марка сварочной проволоки	$\Delta H_в / \rho'_ф$, $\times 10^{12}$ А²·с/(кг·м)
Св-БрКМц 3-1	1,22
Св-08	0,75
Св-08Г2С	0,68
Св-06Х19Н9Т	0,68

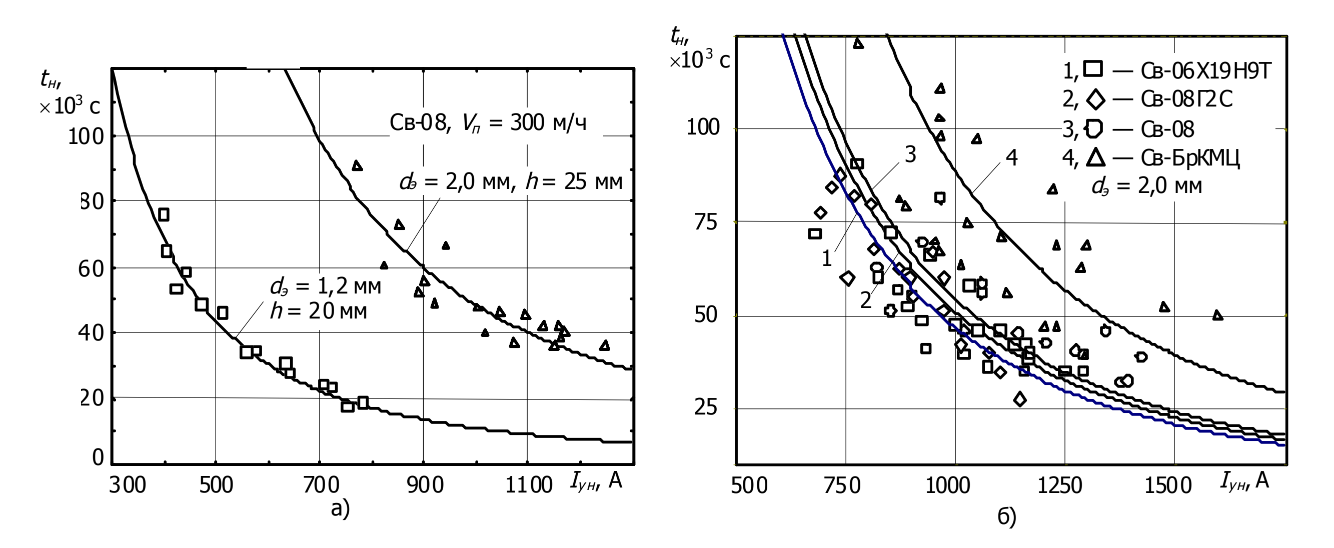


Рис. 4. Изменение времени $t_н$ неподвижности проволоки на вылете при коротком замыкании от величины тока $I_{ун}$: а — для разных диаметров $d_э$; б — для разных материалов проволоки. Точки — экспериментальные данные

Очевидно, что ток ограничения I_0 должен принимать значения в пределах, задаваемых неравенством $0 \le I_0 \le I_{0\max}$.

Максимальный ток ограничения $I_{0\max}$ должен соответствовать предельному значению времени ограничения $I_{0\min}$, определяемому следующим уравнением:

$$t_{0\min} = \frac{h - \ell_р}{V_п} - t_н . \quad (5)$$

А при $I_0 = 0$ время ограничения должно задаваться левой частью неравенства (1).

Значение $I_{0\max}$ может быть получено из условия, что нагрев участка вылета Δx проходящим током при его перемещении на вылете обеспечивает повышение температуры этого участка от температуры $T_н$, которую он приобрёл в неподвижном контакте с токоподводящим наконечником, до температуры плавления $T_{пл}$. Это условие может быть записано в виде:

$$V_п \gamma F_э \left(H_{пл} - H_н\right) = V_п \cdot \rho' \cdot F_э^{-1} I_{0\max}^2 \cdot t_{0\max} - q'_п , \quad (6)$$

где $H_н$ — энтальпия металла элемента Δx, при его выходе из токоподводящего наконечника, Дж/кг; $q'_п = q_{п1} + q_{п2}$ — суммарные потери мощности из элемента Δx в прилегающие к нему с обеих сторон менее нагретые участки вылета проволоки за время t_0, Вт; ρ' — среднее удельное сопротивление нагретого металла вылета проволоки в интервале температур $T_н - T_{пл}$, Ом·м.

Энтальпия металла участка Δx в начале его выдвижения из токоподводящего наконечника складывается из энтальпии $H_м$, обусловленной процессом теплопередачи в проволоку от контакт-

ного перехода, и энтальпии H_{873} от нагрева металла до температуры 600 °С (873 К), при которой сталь теряет упругие свойства [3], т. е.

$$H_н = H_м + H_{873}. \tag{7}$$

Энтальпию $H_м$ можно выразить в виде:

$$H_м = \frac{q_м - q_п}{\gamma F_э V_п \cdot \Delta x} \cdot 10^{-3}, \tag{8}$$

где $q_м$ — мощность, поступившая в элемент Δx от контактного перехода с токоподводящим наконечником за время $t_н$, Вт; $q_п$ — суммарные потери мощности из элемента Δx за счёт теплопроводности за время $t_н$, Вт.

Для упрощения расчётов примем $q'_п = 0$. Тогда, решая совместно уравнения (6) и (8) относительно $I_{0\max}$, получаем:

$$I_{0\max} \cong F_э \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\rho'}\left(H_{пл} - H_{873} - \frac{q_м - q_п}{\gamma F_э V_п \cdot \Delta x} \cdot 10^{-3}\right)\left(\frac{h - \ell_p}{V_п} - t_н\right)^{-1}}. \tag{9}$$

Значения γ и $H_{пл}$ для электродов разного химического состава были приняты по данным работы [4]. Расчёт значений ρ' и H_{873} по данным работы [5] показывает, что для стальных электродов ρ' изменяется незначительно (от $118 \cdot 10^{-8}$ до $120 \cdot 10^{-8}$ Ом·м) и может быть принята постоянной, равной $120 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а энтальпии H_{873} имеют значения, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Значения энтальпии металла проволок различных марок при температуре 873 К

Марка сварочной проволоки	H_{873}, кДж/кг
Св-08	352
Св-08Г2С	348
Св-06Х19Н9Т	318

Практическая реализация способа управления процессом. Осциллограммы процесса, иллюстрирующие разработанный способ первоначального зажигания дуги при условии $I_0 \le I_{0\max}$ и $I_0 = 0$, приведены на рис. 5, *а, б*.

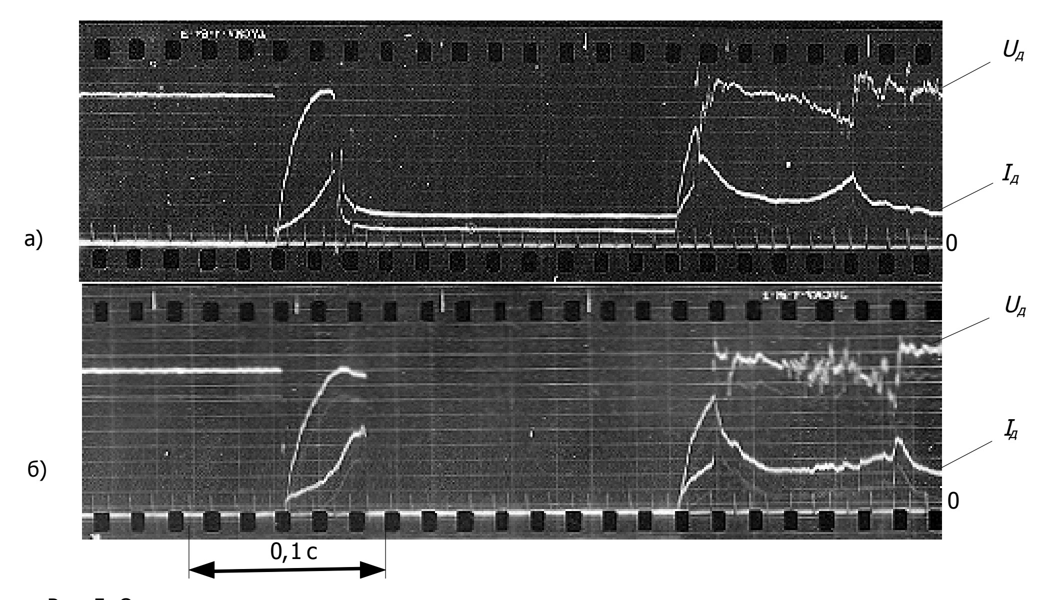


Рис. 5. Осциллограммы процесса ускоренного зажигания дуги с ограничением тока короткого замыкания: а — $0 \le I_0 \le I_{0\max}$; б — $I_0 = 0$

Изучение кинограмм рассматриваемого процесса позволило установить, что отличительной особенностью предложенного способа является перемещение элемента Δx по прямой между токоподводящим наконечником и изделием, поскольку проволока на участке, расположенном выше этого элемента, не успевает нагреться током ограничения I_0 до пластического состоянии. По этой причине обеспечивается строгая повторяемость условий подхода места перегорания на вылете проволоки к поверхности изделия. Кроме того, время разогрева вылета проволоки до пластического состояния $t_н$ в предлагаемом способе на порядок меньше, чем в ранее предложенном способе с ограничением тока короткого замыкания [2]. В результате проскальзывание подающих роликов по проволоке в процессе короткого замыкания становится практически невозможным, что обеспечивает надёжное установление процесса сварки после первого касания проволоки с изделием.

Заключение. Предложенный способ управления первоначальным зажиганием сварочной дуги в защитных газах обеспечивает повышение надёжности и ускорение установления процесса сварки проволоками различного химического состава диаметром не более 2,5 мм и может найти применение в схемах управления сварочными автоматами и сварочными роботами.

Библиографический список

1. Варуха, Е. Н. Классификация способов контактного зажигания дуги при сварке проволоками малого диаметра / Е. Н. Варуха // Сварочное производство. — 2007. — № 3. — С. 15—19.

2. Варуха, Е. Н. Установление процесса сварки с ограничением тока при первоначальном коротком замыкании сварочной проволоки с изделием / Е. Н. Варуха // Сварка и диагностика. — 2008. — № 2. — С. 7—13.

3. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справочник / под ред. Б. Е. Неймарк. — Москва: Ленинград: Энергия, 1967. — 471 с.

4. Походня, И. К. Теплосодержание капель электродного металла при дуговой сварке в защитных газах / И. К. Походня, А. М. Суптель // Автоматическая сварка. — 1967. — № 2. — С. 13—18.

5. Сварка и свариваемые материалы. В 3-х т. Т. 1: Свариваемость материалов. Справ. изд. / под ред. Э. Л. Макарова. — Москва: Металлургия, 1991. — 528 с.

Материал поступил в редакцию 05.12.2011.

References

1. Varuxa, E. N. Klassifikaciya sposobov kontaktnogo zazhiganiya dugi pri svarke provolokami malogo diametra / E. N. Varuxa // Svarochnoe proizvodstvo. — 2007. — # 3. — S. 15—19. — In Russian.

2. Varuxa, E. N. Ustanovlenie processa svarki s ogranicheniem toka pri pervonachal`nom korotkom zamy`kanii svarochnoj provoloki s izdeliem / E. N. Varuxa // Svarka i diagnostika. — 2008. — # 2. — S. 7—13. — In Russian.

3. Fizicheskie svojstva stalej i splavov, primenyaemy`x v e`nergetike: Spravochnik / pod red. B. E. Nejmark. — Moskva: Leningrad: E`nergiya, 1967. — 471 s. — In Russian.

4. Poxodnya, I. K. Teplosoderzhanie kapel` e`lektrodnogo metalla pri dugovoj svarke v zashhitny`x gazax / I. K. Poxodnya, A. M. Suptel` // Avtomaticheskaya svarka. — 1967. — # 2. — S. 13—18. — In Russian.

5. Svarka i svarivaemy`e materialy`. V 3-x t. T. 1: Svarivaemost` materialov. Sprav. izd. / pod red. E`. L. Makarova. — Moskva: Metallurgiya, 1991. — 528 s. — In Russian.

INITIAL ARC IGNITION CONTROL IN GAS-SHIELDED WELDING

E. N. Varukha
(Don State Technical University),
M. K. Sundetov
(Astrakhan State University),
I. S. Morozkin
(Rostov State Transport University)

The control method of the initial arc ignition in the gas-shielded welding is offered. It is based on the short-circuit current limitation after heating the wire stick-out with the metal passing current to the plastic state for the time of the wire burnout approach point at the stick-out-to-work distance not exceeding the arc breaking length. The dependences describing the conditions necessary and sufficient for the reliable establishment of the welding process after the first wire-work contact are experimentally investigated and analytically determined.
Keywords: *control of initial arc ignition, gas-shielded welding, hybrid filler wire.*

УДК 621.785:669.018

О протекании процесса рекристаллизации в быстрорежущих сталях при импульсном лазерном облучении

А. В. Бровер, Г. И. Бровер
(Донской государственный технический университет)

Проведены теоретические и экспериментальные исследования особенностей проявления структурной наследственности быстрорежущих сталей в процессе гипернеравновесных фазовых переходов. Определялся средний размер зерна аустенита после различных вариантов объёмной и поверхностной термообработки, по которому можно оценить температурный интервал нагрева стали под закалку.
Ключевые слова: *легированные стали, лазерная закалка, рекристаллизация, структурная наследственность, гипернеравновесные фазовые переходы.*

Введение. Широкое использование прогрессивных технологических процессов, в частности лазерного термоупрочнения и легирования, невозможно без глубокого понимания физической сути фазовых и структурных превращений, протекающих при ускоренном нагреве, без установления взаимосвязи между механизмом и кинетикой фазовых превращений и образующимся при этом структурным состоянием, а также наследственной связи между конечной и исходной структурами.

В настоящее время в литературе отсутствует однозначное суждение о величине зерна аустенита в зонах лазерной обработки [1, 2]. С одной стороны, увеличение скорости нагрева стали должно способствовать измельчению зерна, с другой — процесс формирования аустенита осложняется эффектами восстановления формы и размеров зёрен.

Изменения в размерах зерна аустенита легированных сталей после импульсного лазерного облучения могут быть вызваны следующими факторами: более высокой температурой нагрева по сравнению с нагревом при печной закалке по стандартным режимам; чрезвычайно малым временем облучения и значительными температурными градиентами в зонах лазерной обработки.

Прежде всего следует отметить, что высокие температуры нагрева, присущие лазерной обработке, могут увеличить долю растворившихся карбидов, что будет способствовать росту зерна аустенита. Но дефицит времени для протекания диффузионных процессов растворения карбидов при кратковременной лазерной обработке способствует уменьшению размера зерна аустенита, несмотря на высокую температуру нагрева.

С другой стороны, дополнительный вклад в процессы, протекающие при аустенитизации легированных сталей, вносит высокая скорость лазерной обработки, что приводит к появлению значительных температурных градиентов, которые наряду с фазовым наклёпом при $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перекристаллизации приводят к появлению термических напряжений, релаксирующих за счёт образования и взаимодействия дислокаций. В результате можно ожидать не только явления наследования размера аустенитного зерна от исходного закалённого металла, но и протекания динамической рекристаллизации аустенита, сопровождаемой как измельчением зерна, так и его дальнейшим ростом.

В настоящей работе сделана попытка определения особенностей влияния перечисленных факторов на проявление структурной наследственности в процессе скоростной лазерной закалки сталей методами количественной металлографии.

Это важно, поскольку знание особенностей структурных превращений в металлах при скоростной лазерной обработке позволяет выбирать режимы для получения определённого структурного состояния поверхностных слоёв материала, а также избегать нежелательных его измене-

ний в процессе эксплуатации облучённых металлических изделий под действием повышенных температур, больших нагрузок и т. д.

Методики проведения эксперимента. В работе использовались образцы легированных сталей Р6М5, Р18 и др. Лазерное облучение проводилось на технологической установке «Квант-16» с плотностью мощности излучения 100—150 МВт/м^2. Для осуществления процесса лазерной цементации применялся порошок стандартного карбюризатора (берёзового). В качестве связки использовали пековый лак.

Металлографический анализ проводился на микроскопе Neophot-21, полирование и травление шлифов выполнялось электролитическим методом. При рентгеноструктурных исследованиях использовался дифрактометр ДРОН-0,5, съёмка осуществлялась в фильтрованном FeK_{α}-излучении в режиме непрерывной записи.

Обсуждение результатов исследований. Установлено, что лазерная обработка быстрорежущих сталей способствует образованию на поверхности образцов и изделий аустенитно-мартенситных структур с твёрдостью до 12 ГПа. Вместе с тем, в упрочнённом металле отмечается достаточно чётко выраженная неоднородность по фазовому составу и структуре. Так, после однократного облучения в пятне, как правило, выявляется несколько характерных зон, различающихся по степени травимости и общей твёрдости. Следует отметить, что соотношение различных зон по объёму зависит от режима облучения, хотя основную долю составляет светлая зона с максимальным уровнем твёрдости. Травление светлой зоны позволило выявить границы аустенитных зёрен в виде сетки и нерастворённые карбиды.

Подобные структуры характерны для быстрорежущих сталей в закалённом состоянии, поскольку присутствие мартенсита как фазы металлографически начинает проявляться лишь после нагрева, например, отпуска [3].

В работе определяли средний размер зерна аустенита после различных вариантов объёмной и поверхностной термообработки быстрорежущих сталей методом секущих. Для каждого варианта был получен массив из 25 измерений; при уровне надёжности P = 0,95 определено среднеквадратическое отклонение среднего размера зерна аустенита, равное 0,5 мкм.

По среднему размеру аустенитных зёрен можно оценить температурный интервал нагрева быстрорежущей стали под закалку, в частности, сталь Р6М5 после объёмной закалки с оптимальных температур порядка 1220 °С имеет средний размер зёрен в пределах 6,1 ± 0,5 мкм, что по шкале микроструктур оценивается в 11—12 баллов.

Поскольку установлено [4, 5], что наибольшая глубина и твёрдость упрочнённого слоя достигается при лазерном облучении быстрорежущих сталей, прошедших полный цикл объёмного упрочнения (закалка и трёхкратный отпуск 560 °С), в настоящей работе лазерной закалке подвергались образцы со структурой мартенсит закалки и отпуска. Представляло интерес сравнение аустенитной структуры в зонах лазерной и объёмной закалки. Методически этот вопрос решался путём определения среднего условного диаметра зерна аустенита по микрофотографиям структуры с различных зон с использованием методов стереометрической металлографии. При этом среднестатистическая ошибка измерений не превышала 3—4 % от определяемой величины. В результате исследований установлено, что в зоне лазерной закалки из твёрдого состояния размер выявляемых аустенитных зёрен на 15—35 % больше, чем в исходном металле, закалённом с объёмного нагрева до температуры 1220 °С.

Этот экспериментальный факт является очень важным при изучении вопросов, связанных с аустенитизацией быстрорежущих сталей под воздействием скоростного лазерного нагрева. Дело в том, что рост зёрен при аустенитизации контролируется диффузией и зависит от температуры нагрева и времени выдержки. Если учитывать длительность лазерного нагрева в аустенитную область, исчисляемую тысячными долями секунды, и сверхвысокую скорость нагрева, то можно бы-

ло бы ожидать формирования в процессе такой обработки ультрадисперсной структуры или восстановления исходного размера зерна закалённой стали. Однако в действительности образуется крупнозернистая структура.

Допуская возможность реализации каких-то особенностей в структурном механизме фазового превращения и роста зерна аустенита в условиях лазерного нагрева, следует вначале остановиться на роли достигаемого при этом температурного интервала. По-видимому, при лазерной аустенитизации температура нагрева поверхности достигает солидуса, который в многокомпонентной системе Fe — W — Mo — V — C для состава стали Р6М5 при равновесных условиях находится на уровне 1290—1310 °С. Вместе с тем, под действием высокой скорости лазерного нагрева критическая температура плавления может сместиться в область более высоких температур. Экспериментальные факты образования крупного зерна аустенита и зависимость достигаемых при этом размеров зёрен от параметров лазерного облучения позволяют косвенно судить о технологической значимости этого смещения и общем уровне температур нагрева.

Известно, что концентрация мощности лазерного излучения на единице облучаемой поверхности при постоянной энергии накачки достигает максимума, если образец находится в фокусе оптической системы лазера. По мере смещения поверхности образца из фокуса плотность энергии облучения будет снижаться. Аналогичный характер изменения фиксируется и по температуре нагрева. Поэтому на данный фактор должна отреагировать и структура, в частности, размер зерна аустенита. Сделанные в этом направлении эксперименты подтверждают это обстоятельство. В частности, облучение в фокусе, создавая максимальную температуру нагрева, способствует росту зёрен аустенита до условного среднего диаметра в 9,5 $\pm$ 0,2 мкм, в то время как закалка в сильно расфокусированном луче даёт зерно размером в 7,5 мкм, что более чем на 1 мкм больше значений, получаемых после объёмной закалки с оптимальных температур.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующее заключение относительно причин роста зерна аустенита при лазерной обработке предварительно закалённых сталей.

При малой энергии облучения и, следовательно, относительно низких температурах нагрева к увеличению размера зерна аустенита может приводить повышенная плотность дислокаций, возникающих в аустените при $\alpha \rightarrow \gamma$ превращении, наследуемая от исходной до нагрева α-фазы, что способствует протеканию собирательной рекристаллизации.

При большой энергии облучения и нагреве в верхнюю часть твердофазной области к дальнейшему росту зерна аустенита приводит более полное растворение карбидов, чем это имеет место при печной закалке по стандартным режимам.

В целях развития представленной выше информации о зависимости роста зерна при лазерной аустенитизации от максимально достигаемых температур были поставлены эксперименты по облучению стали Р6М5 с разной энергией при постоянной расфокусировке пучка. Облучение образцов проведено на технологической установке «Квант-16» с регистрацией энергии. Установлено, что с ростом энергии облучения, а, следовательно, и максимальной температуры нагрева, происходит увеличение средних размеров аустенитных зёрен до величин, на 30—35 % превышающих размеры, которые свойственны традиционному объёмному упрочнению. Следует отметить, что оказывает влияние и некоторое увеличение длительности лазерного импульса с ростом энергии облучения. Образование в условиях лазерного нагрева зёрен с размером в 9,0—10,0 мкм следует считать крайним вариантом, поскольку дальнейшее увеличение энергии облучения и длительности импульса, то есть соответствующий рост максимальной температуры и продолжительности нагрева, приводит к оплавлению поверхности металла и переходу в плане последующего формирования структуры в качественно новую область.

Особенности проявления структурной наследственности в легированных сталях в процессе гипернеравновесных фазовых переходов можно объяснить с привлечением двух механизмов

перекристаллизации. В первом случае исходим из предположения, что при импульсном лазерном нагреве наблюдается следующая последовательность структур в процессе перекристаллизации: упорядоченная перестройка решётки $\alpha \rightarrow \gamma$, приводящая к восстановлению исходного размера зерна; рекристаллизация γ-фазы, обусловленная возникающими при превращении и унаследованными от исходной структуры искажениями; укрупнение зерна на начальной стадии собирательной рекристаллизации [6—9].

Оценим энергетические условия зафиксированного экспериментально роста зерна аустенита при лазерной обработке стали на определённых режимах [10, 11].

Исходим из того, что достигнутая при лазерном облучении высокая плотность дислокаций не успевает аннигилировать при охлаждении, обладая избыточной энергией:

$$U_\rho \approx 0{,}5 \cdot G \cdot b^2 \cdot \rho, \qquad (1)$$

где G — модуль сдвига аустенита; b — вектор Бюргерса; ρ — плотность дислокаций.

В процессе собирательной рекристаллизации увеличивается условный диаметр зёрен аустенита, то есть уменьшается протяжённость его границ, что приводит к уменьшению свободной энергии металла (ΔU_ρ) и повышению устойчивости γ-фазы:

$$\Delta U_\rho \approx 2\gamma\Delta d^{-1}, \qquad (2)$$

где γ — удельная поверхностная энергия; d — средний размер зерна.

Для того чтобы процесс рекристаллизации мог осуществиться, необходимо соблюдение условия: $U_\rho \leq \Delta U_\rho$, то есть

$$2\gamma\Delta d^{-1} \geq 0{,}5 \cdot G \cdot b^2 \cdot \rho. \qquad (3)$$

Экспериментально определённый размер рекристаллизованного зерна аустенита в облучённых зонах на стали Р6М5 в среднем составляет 9 мкм. Найдём ту плотность дислокаций ($\Delta\rho$), при которой энергетически выгодным становится образование относительно крупных аустенитных зёрен. По данным Д. Мак Лина, удельная поверхностная энергия на границе зерна аустенита равна 850 МДж/м^2. Модуль сдвига аустенита при 1000 °С примем $4 \cdot 10^4$ МПа, $b^2 \approx 10^{-15}$ см^2. Подстановка в выражение (3) даёт «критическую» плотность дислокаций 10^{10}—10^{11} см$^{-2}$, что достижимо при лазерной закалке и легировании.

Таким образом, реализация рекристаллизационных процессов в аустените при высоких температурах и высоких скоростях лазерного нагрева находит энергетическое обоснование.

Следует отметить ещё один фактор, способствующий укрупнению аустенитного зерна при скоростной лазерной термообработке. Это ослабление тормозящего действия избыточных высоколегированных и отпускных карбидов, обусловленное их растворением при лазерном облучении.

Тормозящее действие частиц при рекристаллизации и росте зёрен определим из соотношения Смита — Мак Лина:

$$D = \frac{2}{3}\frac{d}{f}, \qquad (4)$$

где D — диаметр зерна; d и f — диаметр и объёмная доля карбидных частиц соответственно.

Диаметр зерна составляет 9 мкм, диаметр карбидных частиц $\approx$ 1 мкм.

$$f = \frac{2d}{3D} = \frac{2 \cdot 1}{3 \cdot 9} \approx 7\,\%.$$

Полученный результат согласуется с экспериментальными данными о количестве карбидов в лазерно-облучённом металле.

Следует отметить, что согласно К. Зинеру максимальное тормозящее усилие, действующее на единицу площади поверхности границы зерна аустенита, создаваемое включениями, определяется формулой:

$$p = \frac{3f\sigma_B}{2r}, \qquad (5)$$

где *p* — тормозящее усилие; *f* — доля объёма, занимаемая включениями; σ_B — удельная поверхностная энергия границы; *r* — радиус частицы.

Из соотношения (5) следует, что при заданной объёмной доле включений более мелкие частицы должны сильнее тормозить миграцию границ зёрен аустенита, но они растворяются при лазерной обработке. Следствием этого является уменьшение ограничений для роста зёрен аустенита.

Ослабление тормозящего действия высоколегированных карбидов, выделившихся при отпуске стали после объёмной закалки, обусловлено их растворением под действием достигаемых при лазерной обработке высоких температур, что было подтверждено экспериментально путём количественной оценки объёмной доли карбидов, находящихся в металле до и после облучения.

Такая проверка осуществлялась планиметрическим методом с использованием микрофотографий, сделанных в случайных сечениях анализируемого объёма. При этом подсчёт карбидов проводился по группам в зависимости от размеров: 0,4—1 мкм; 1—2 мкм; 2—3 мкм; 3—4 мкм. В результате исследований установлено, что лазерная закалка в силу высокого температурного интервала нагрева обеспечивает дополнительное растворение карбидов в матрице. В частности, на рисунке 1 показаны гистограммы распределения объёмной доли карбидов по размерам в зависимости от количества импульсов при облучении ($\tau_{имп} \sim 3 \cdot 10^{-3}$ с; q = 80—100 МВт/м^2) одного и того же участка поверхности образца по сравнению с объёмной долей карбидов в образце, подвергнутом объёмной термообработке (закалка и трёхкратный отпуск). Эти данные характеризуют растворение как мелких, так и относительно крупных карбидов, различимых при применении оптического микроскопа.

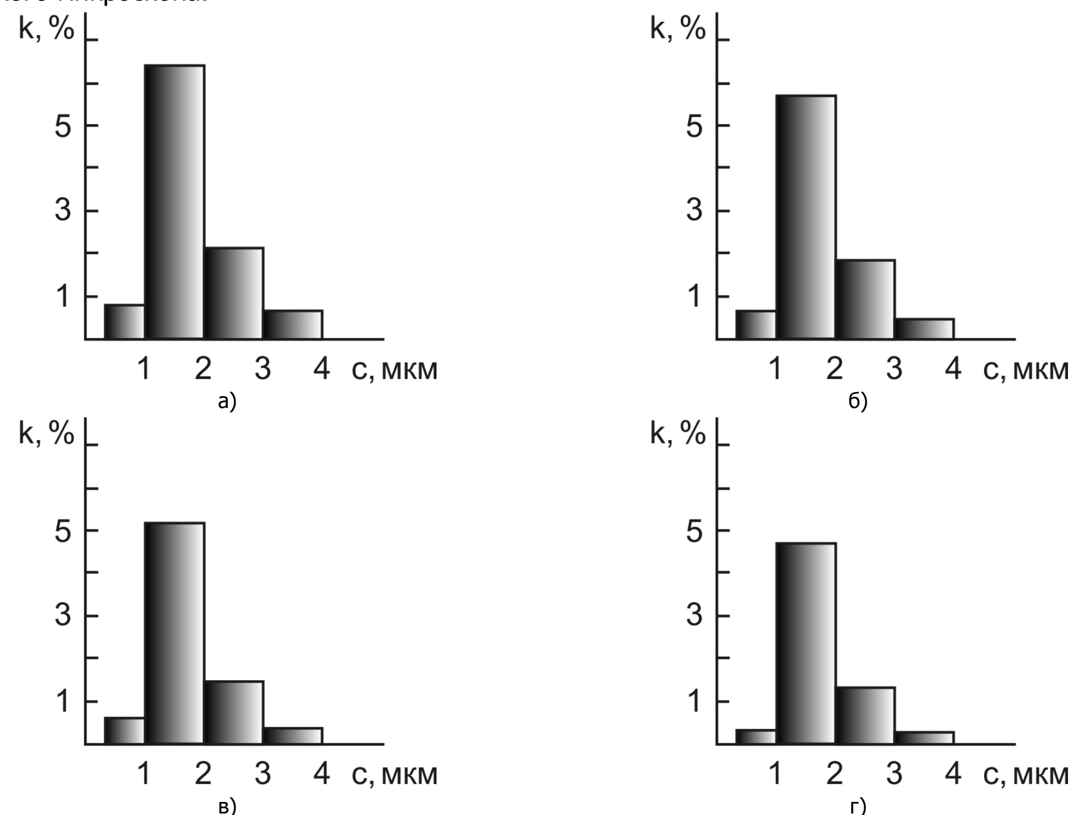


Рис. 1. Количество карбидов (*k*) в стали Р6М5 в зависимости от их размера (*c*): а — объёмная закалка и трёхкратный отпуск 560 °С (общая доля карбидов — 9,44 %); б — однократное облучение (общая доля карбидов — 8,21 %); в — двукратное облучение (общая доля карбидов — 7,36 %); г — трёхкратное облучение (общая доля карбидов — 6,81 %)

Дополнительное по сравнению с объёмной обработкой растворение карбидов облегчает наряду с другими факторами рост аустенитных зёрен при скоростном лазерном нагреве. В качестве иллюстрации на рисунке 2 приведена зависимость среднего размера зерна аустенита от энергии облучения, то есть от доли растворённых при лазерной обработке карбидов. Как видно, при всех энергиях излучения средний размер зерна аустенита в зоне закалки из твёрдого состояния больше, чем в основном металле.

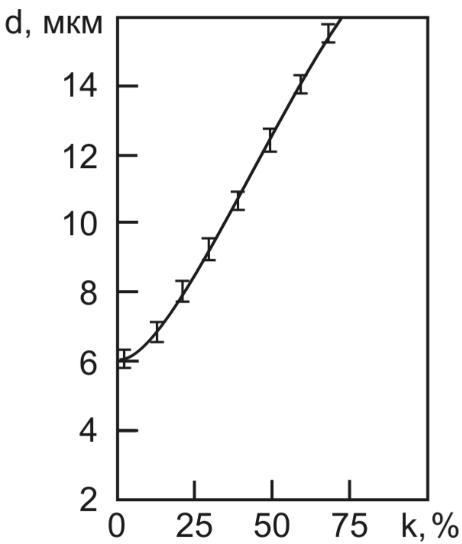


Рис. 2. Влияние доли растворённых карбидов (*k*) при лазерной закалке на средний размер аустенитного зерна (*d*)

Можно было предположить, что если сохранить в структуре большее количество нерастворённых карбидов за счёт, например, поверхностного насыщения металла углеродом, то зерно аустенита расти до значительных размеров не будет. Для подтверждения высказанных соображений были проведены эксперименты по лазерному облучению поверхности стали Р6М5, покрытой слоем сажи и обмазкой для насыщения металла углеродом. В закалённых по обоим вариантам зонах измерялся средний размер аустенитного зерна и подсчитывалась доля растворённых карбидов. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средний размер аустенитного зерна и общая доля карбидов в металле, подвергнутом лазерной закалке и лазерной цементации

Термообработка образцов из стали Р6М5	Общая доля карбидов, %		Средний размер зерна аустенита, мкм	
	однократное облучение	двукратное облучение	однократное облучение	двукратное облучение
Объёмная закалка с 1220 °С и трёхкратный отпуск 560 °С	9,5	—	6,1 ± 0,5	
Лазерная закалка с чернением поверхности образцов сажей	8,7	7,4	8,3 ± 0,5	9,2 ± 0,5
Лазерная цементация	10,1	11,8	7,1 ± 0,5	7,8 ± 0,5

Как видно, при лазерной цементации действительно сдерживается рост зёрен аустенита по сравнению с лазерной закалкой либо за счёт более низкого температурного интервала нагрева поверхности стали, связанного с необходимостью расплавления обмазки, либо за счёт влияния нерастворившихся карбидов. Обращает на себя внимание рост количества карбидов в облучённой зоне по сравнению с исходным металлом. Это может быть следствием выделения карбидов из перенасыщенного углеродом твёрдого раствора при охлаждении облучённого слоя. Для проверки этого предположения были проведены лазерное упрочнение и лазерная цементация образцов из

стали Р6М5, подвергнутых объёмной закалке без отпуска. При этом установлено, что в облучённом металле зерно аустенита растёт до больших размеров, чем при упрочнении стали, подвергнутой объёмной закалке с отпуском (таблица 2). Это может быть связано с почти полным отсутствием дисперсных карбидов в исходных структурах объёмной закалки. После лазерной цементации доля карбидов увеличивается и достигает тех же значений, что и после легирования углеродом исходных отпущенных структур. Это может происходить вследствие выделения карбидов при охлаждении металла после высокотемпературной лазерной цементации из твёрдых обмазок. Размер такого рода карбидов находится в пределах 0,001—0,003 мм, что говорит об их дисперсности.

Таблица 2

Средний размер зёрен аустенита и общая доля карбидов в металле, подвергнутом лазерной закалке и лазерной цементации

Термообработка стали Р6М5	Общая доля карбидов, %		Средний диаметр зерна аустенита, мкм	
	однократное облучение	двукратное облучение	однократное облучение	двукратное облучение
Объёмная закалка с 1220 °С	8,9		6,1 ± 0,5	
Лазерная закалка (чернение поверхности сажей)	7,1	6,7	9,7 ± 0,5	11,8 ± 0,5
Лазерная цементация	10,4	11,3	8,4 ± 0,5	8,8 ± 0,5

Обращает на себя внимание тот факт, что размер зерна аустенита в упрочнённых зонах при облучении объёмно-закалённой без отпуска быстрорежущей стали не равен размеру зерна аустенита исходного металла. Это может быть связано с возможным незначительным распадом мартенсита исходной закалённой структуры при подходе к температуре $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения, что частично нарушает упорядоченность перестройки из-за присутствия дисперсных карбидных частиц. Около них могут возникать дополнительные искажения, способствующие образованию насыщенного дефектами аустенита, а следовательно, повышению избыточной энергии γ-фазы. Укрупнение размера аустенитных зёрен на закалённых без отпуска образцах стали больше, чем на отпущенных образцах, что может быть связано с меньшей степенью отпуска структуры перед лазерной перекристаллизацией.

Рассмотренный выше механизм перекристаллизации возможен, но маловероятен в связи с чрезвычайно малой продолжительностью процесса лазерной обработки.

Более перспективен в этих условиях механизм рекристаллизации in situ, играющий роль аккомодационного явления, препятствующего чрезмерному росту микронапряжений, образованию очагов разрушения, и учитывающий диссипацию энергии лазерного воздействия одновременно на нескольких структурных уровнях.

Возникающая в процессе лазерной обработки пространственно-временная дислокационная субструктура может быть представлена в виде трёхступенчатой иерархии масштабов структур: микроскопический уровень, связанный с вкладом эволюции ансамбля структурных несовершенств на уровне субзёрен, границ зёрен; мезоскопический уровень, учитывающий влияние ансамбля дислокационных и дисклинационных зарядов внутри зерна; макроскопический уровень, учитывающий вклад от взаимодействия между зёрнами.

При лазерном облучении в материале возникают вихревые механические поля, характеризующиеся изменением плотности дислокаций (трансляционная мода) и плотности дисклинаций (ротационная мода). Трансляционное движение (миграция субграниц за счёт переползания дислокаций) первично, оно сопровождается ротационным поворотом субзёрен с образованием единой ориентации решётки в пределах зерна, то есть на другом структурном уровне [12]. Таким образом происходит укрупнение зёрен при скоростной лазерной обработке путём коалесценции.

Механизм процесса аустенитизации легированных сталей не исчерпывается обсуждённой выше информацией, поэтому с теоретической точки зрения представляется полезным углубление исследований в этом направлении, особенно по вопросам структурообразования в момент фазовых превращений и влияния этих процессов на формирование прочностных и износостойких свойств сталей.

Заключение. Теоретические и экспериментальные исследования особенностей проявления структурной наследственности в процессе скоростной лазерной обработки легированных сталей позволили установить, что в зоне лазерной закалки из аустенитного состояния размер выявляемых аустенитных зёрен на 15—35 % больше, чем в основном металле, объёмно-закалённом от оптимальных температур нагрева.

Выявлено, что размер аустенитного зерна зависит от условий облучения — степени дефокусировки лазерного луча, плотности мощности излучения, поглощательной способности поверхности, то есть от уровня достигаемых значений температур нагрева поверхностных слоёв материалов.

Предложены два механизма перекристаллизации сталей в условиях скоростной лазерной обработки. В первом случае исходили из предположения, что наблюдается следующая последовательность структурных превращений: упорядоченная перестройка решётки $\alpha \to \gamma$, приводящая к восстановлению исходного размера зерна аустенита; рекристаллизация γ-фазы, обусловленная возникающими при превращении и унаследованными от исходной структуры искажениями; укрупнение зерна на начальной стадии собирательной рекристаллизации. Более перспективным в условиях чрезвычайно малой продолжительности процесса лазерной обработки является механизм рекристаллизации in situ, сопровождаемый миграцией субграниц за счёт переползания дислокаций и ротационным поворотом решётки субзёрен с образованием единой ориентации решётки в пределах зерна, приводящий в результате к укрупнению зёрен путём коалесценции.

Библиографический список

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. — Москва: Машиностроение, 1989. — 304 с.

2. Гриднев, В. Н. О восстановлении зерна аустенита в закалённых углеродистых сталях при быстром нагреве / В. Н. Гриднев, С. П. Ошкадеров, Р. В. Телевич // Физика металлов и металловедение. — 1980. — Т. 49. — № 3. — С. 668—670.

3. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. — Москва: Металлургия, 1983. — 583 с.

4. Бровер, Г. И. Некоторые особенности строения инструментальных сталей после импульсной лазерной обработки / Г. И. Бровер, С. С. Федосиенко, В. Н. Варавка // Известия вузов. Чёрная металлургия. — 1989. — № 6. — С. 92—95.

5. Бровер, Г. И. Влияние параметров излучения и исходной структуры инструментальных сталей на эффективность лазерного упрочнения / Г. И. Бровер, В. Н. Варавка, Е. А. Кацнельсон // Известия вузов. Чёрная металлургия. — 1990. — № 2. — С. 53—56.

6. Садовский, В. Д. Структурная наследственность в стали / В. Д. Садовский. — Москва: Металлургия, 1973. — 205 с.

7. Садовский, В. Д. Образование аустенита при сверхбыстром лазерном нагреве сталей со структурой пакетного мартенсита / В. Д. Садовский, В. М. Счастливцев, Т. И. Табатчикова // Физика металлов и металловедение. — 1987. — Т. 63. — Вып. 3. — С. 555—561.

8. Дьяченко, С. С. Влияние скорости нагрева на структурную перекристаллизацию сталей / С. С. Дьяченко, В. С. Дьяченко, А. А. Слива // Известия вузов. Чёрная металлургия. — 1972. — № 3. — С. 135—138.

9. Садовский, В. Д. Фазовые и структурные превращения при лазерном нагреве стали / В. Д. Садовский, Т. И. Табатчикова, В. М. Умова // Физика металлов и металловедение. — 1984. — Т. 58. — Вып. 4. — С. 812—817.

10. Кидин, И. Н. Наблюдения фазового наклёпа при высокотемпературном полиморфном превращении / И. Н. Кидин, В. И. Лизунов, П. Б. Смирнов // Физика металлов и металловедение. — 1967. — Т. 23. — Вып. 6. — С. 1082—1087.

11. Сагарадзе, В. В. Фазовый наклёп аустенита среднелегированных конструкционных сталей / В. В. Сагарадзе, А. В. Ожиганов, В. В. Крехтунов // Физика металлов и металловедение. — 1973. — Т. 36. — Вып. 1. — С. 121—128.

12. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. — Москва: Металлургия, 1986. — 480 с.

Материал поступил в редакцию 13.12.2011.

References

1. Grigor`yancz, A. G. Osnovy` lazernoj obrabotki materialov / A. G. Grigor`yancz. — Moskva: Mashinostroenie, 1989. — 304 s. — In Russian.

2. Gridnev, V. N. O vosstanovlenii zerna austenita v zakalyonny`x uglerodisty`x stalyax pri by`strom nagreve / V. N. Gridnev, S. P. Oshkaderov, R. V. Televich // Fizika metallov i metallovedenie. — 1980. — T. 49. — # 3. — S. 668—670. — In Russian.

3. Geller, Yu. A. Instrumental`ny`e stali / Yu. A. Geller. — Moskva: Metallurgiya, 1983. — 583 s. — In Russian.

4. Brover, G. I. Nekotory`e osobennosti stroeniya instrumental`ny`x stalej posle impul`snoj lazernoj obrabotki / G. I. Brover, S. S. Fedosienko, V. N. Varavka // Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya. — 1989. — # 6. — S. 92—95. — In Russian.

5. Brover, G. I. Vliyanie parametrov izlucheniya i isxodnoj struktury` instrumental`ny`x stalej na e`ffektivnost` lazernogo uprochneniya / G. I. Brover, V. N. Varavka, E. A. Kacznel`son // Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya. — 1990. — # 2. — S. 53—56. — In Russian.

6. Sadovskij, V. D. Strukturnaya nasledstvennost` v stali / V. D. Sadovskij. — Moskva: Metallurgiya, 1973. — 205 s. — In Russian.

7. Sadovskij, V. D. Obrazovanie austenita pri sverxby`strom lazernom nagreve stalej so strukturoj paketnogo martensita / V. D. Sadovskij, V. M. Schastlivcev, T. I. Tabatchikova // Fizika metallov i metallovedenie. — 1987. — T. 63. — Vy`p. 3. — S. 555—561. — In Russian.

8. D`yachenko, S. S. Vliyanie skorosti nagreva na strukturnuyu perekristallizaciyu stalej / S. S. D`yachenko, V. S. D`yachenko, A. A. Sliva // Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya. — 1972. — # 3. — S. 135—138. — In Russian.

9. Sadovskij, V. D. Fazovy`e i strukturny`e prevrashheniya pri lazernom nagreve stali / V. D. Sadovskij, T. I. Tabatchikova, V. M. Umova // Fizika metallov i metallovedenie. — 1984. — T. 58. — Vy`p. 4. — S. 812—817. — In Russian.

10. Kidin, I. N. Nablyudeniya fazovogo naklyopa pri vy`sokotemperaturnom polimorfnom prevrashhenii / I. N. Kidin, V. I. Lizunov, P. B. Smirnov // Fizika metallov i metallovedenie. — 1967. — T. 23. — Vy`p. 6. — S. 1082—1087. — In Russian.

11. Sagaradze, V. V. Fazovy`j naklyop austenita srednelegirovanny`x konstrukcionny`x stalej / V. V. Sagaradze, A. V. Ozhiganov, V. V. Krextunov // Fizika metallov i metallovedenie. — 1973. — T. 36. — Vy`p. 1. — S. 121—128. — In Russian.

12. Novikov, I. I. Teoriya termicheskoj obrabotki metallov / I. I. Novikov. — Moskva: Metallurgiya, 1986. — 480 s. — In Russian.

ON RECRYSTALLIZATION BEHAVIOUR IN HIGH-SPEED STEELS UNDER PULSED LASER ILLUMINATION

A. V. Brover, G. I. Brover
(Don State Technical University)

The theoretical and experimental investigations on the development features of the structural heredity of high-speed steels under the hypernonequilibrium phase transitions are carried out. The average austenite grain diameter after different options of the volume and surface heat treatment, that permits to estimate the temperature interval of steel hardening heat, is determined.
Keywords: *alloyed steels, laser hardening, recrystallization, structural heredity, hypernonequilibrium phase transactions.*

УДК 621.753

Человеческий ресурс в системе менеджмента качества сварочной продукции

А. С. Коробцов
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены основные факторы и процессы управления человеческим ресурсом в системе менеджмента качества сварочной продукции.
Ключевые слова: *качество, сварка, управление человеческим ресурсом, специальные компетенции.*

Введение. В настоящее время, в соответствии с мировыми тенденциями развития общества, при изготовлении продукции на первое место выдвигается задача максимального удовлетворения требований и ожиданий потребителей.

Ключевое требование каждого потребителя — *качественная* продукция. Качественная — значит отвечающая его ожиданиям в соответствии с установленными требованиями. Поэтому в условиях конкуренции возрастает роль процессов планирования, обеспечения и улучшения качества продукции и *управления качеством***.**

Следует акцентировать внимание на том, что качество сварочной продукции в значительной степени определяется человеческим ресурсом, проявляющимся на всех этапах жизненного цикла продукции и оказывающим влияние на все элементы системы качества, поэтому проблема управления человеческим ресурсом была и остаётся актуальной.

Однако в настоящее время в теории управления не существует терминологического единства [1] относительно деятельности, которую можно назвать «управление человеческим ресурсом».

Наиболее часто используется термин «управление персоналом», под которым с позиции функционального подхода понимают деятельность, обеспечивающую соответствие количественных и качественных характеристик персонала целям организации. Кроме «управления персоналом» применяются также такие термины, как: «управление человеческими ресурсами», «управление рабочей силой», «управление трудом», «социальная инженерия». Весьма распространён термин «кадровая работа» для целей и задач в области отбора, подготовки, оценки квалификации, перемещения кадров. Определённую последовательность действий и операций, направленных на обеспечение кадровой политики организации, называют термином «персонал-технология».

Все подходы схожи в том, что работники рассматриваются как ресурс, необходимый во всех видах деятельности организации.

С позиции терминологии наиболее общим, по нашему мнению, является термин «управление человеческим фактором», так как помимо рассмотренных выше аспектов управления персоналом, он включает также влияние на качество продукции таких факторов, как стиль руководства, морально-этические качества, психологическая совместимость при групповой деятельности, индивидуальные особенности личности, функциональное состояние.

Представляется возможным решение проблемы управления человеческим фактором с целью обеспечения качества сварочной продукции с позиции системного подхода, с использованием аппарата инженерной психологии и системы менеджмента качества, в соответствии с положениями TQM (всеобщего управления качеством). При этом начальным ответственным этапом является идентификация факторов и процессов управления.

Факторы управления. Производственно-технологическая деятельность представляет собой сложное взаимодействие техники и персонала, обладающего разными профессиональными и социальными характеристиками, психическими и психофизиологическими особенностями. Поэтому в рамках системы менеджмента качества организации, очевидно, должны быть различные уровни управления персоналом:

- *идеологический* (уровень формирования корпоративных норм, ценностей и организационной культуры);
- *социально-психологический* (профориентационная, адаптационная, социальная работа, обеспечение мотивации);
- *оперативно-кадровый* (разработка нормативов численности и квалификационных характеристик, профессиональный отбор, обучение, оценка квалификации, приём, увольнение работников);
- *социально-бытовой* (обеспечение персонала надлежащими производственными и бытовыми условиями).

Необходимо подчеркнуть, что при решённых на данных уровнях управления общих вопросах в рамках организации первоочередной задачей управления человеческим фактором, при конкретной производственно-технологической деятельности, является выявление основных факторов управления, оценка их значимости, а также идентификация процессов управления. Это является ответственным этапом, предопределяющим успешность управления человеческим фактором в целом.

Данная задача, несмотря на многочисленные исследования, является достаточно сложной из-за многообразия показателей, неоднозначности их влияния и необходимости решения проблемы с системных позиций на стыке ряда научных дисциплин: управление качеством, общая и инженерная психология, эргономика, физиология, научная организация труда.

Анализ вопроса показал, что наибольший опыт по данной проблеме накоплен в инженерной психологии, с учётом положений которой была выявлена зависимость эффективности человеческой деятельности и, соответственно, качества продукции от многих объективных и субъективных факторов, классификация которых представлена на рис. 1.

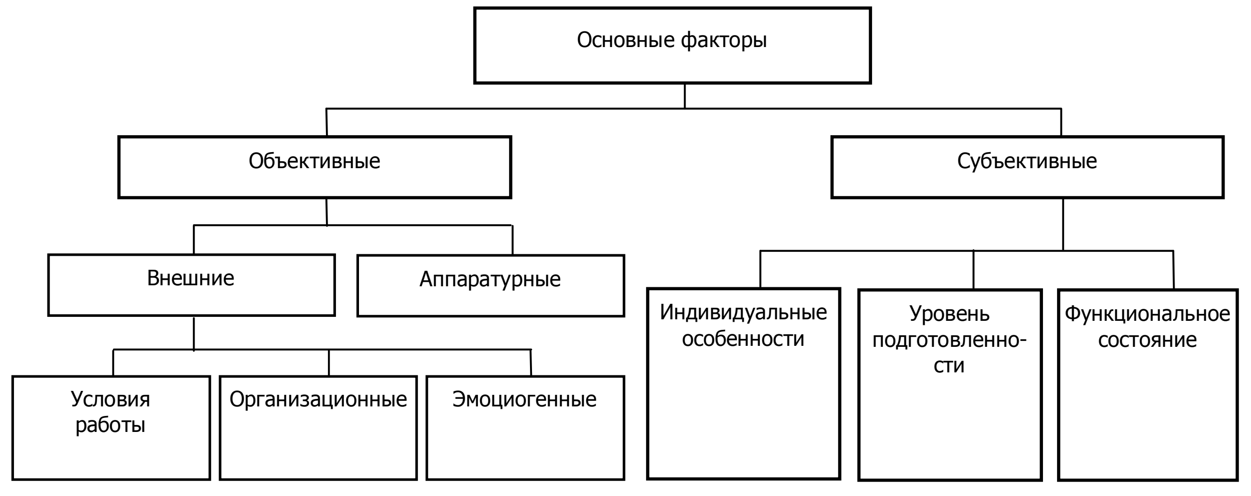


Рис. 1. Основные факторы, влияющие на качество продукции

К объективным факторам, влияющим на качество продукции, относят аппаратурные (применяемые технологии и методики, оборудование и аппаратура, пригодность основного и присадочного материалов, особенности изделия и т. п.) и внешние, которые характеризуют условия

работы (температура, влажность, освещённость, наличие помех, эргономические факторы), а также организационные (режим труда и отдыха, отрезок рабочего дня) и эмоциогенные (степень ответственности, аварийная ситуация) особенности деятельности работника.

Субъективные факторы, получившие на практике название *человеческий фактор*, подразделяются на три самостоятельные, но взаимовлияющие подгруппы (рис. 1), сущность и роль которых рассмотрим ниже.

Индивидуальные особенности личности. В практической психологии под индивидуальными особенностями личности понимают её психологические свойства и особенности, обычно называемые «чертами личности». Их очень много, так, в русском языке около 1500 слов означают свойства личности. Всё это многообразие психологи пытаются условно уложить в некоторое число подструктур (рис. 2).

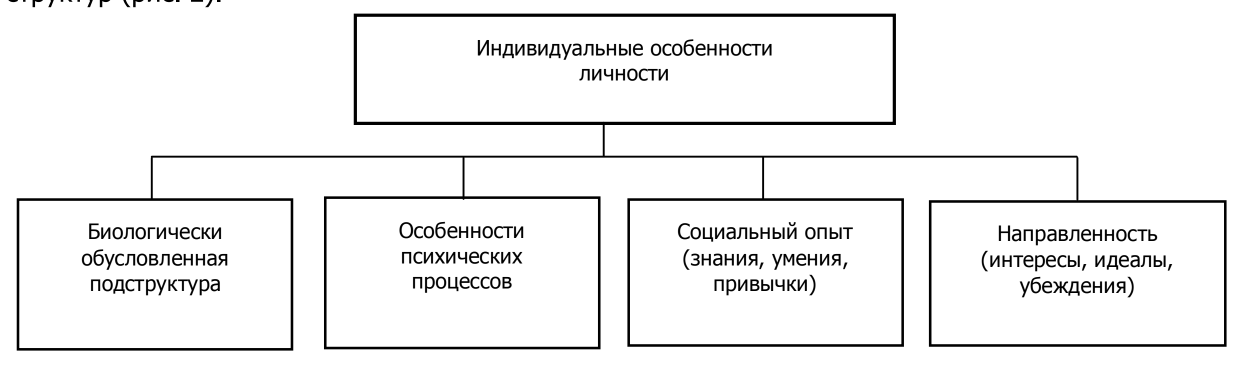


Рис. 2. Основные подструктуры индивидуальных особенностей личности

Базовым уровнем личности является биологически обусловленная подструктура, в которую входят возрастные, половые свойства психики, врождённые свойства нервной системы и темперамент. Следующая подструктура включает в себя индивидуальные особенности психических и психофизиологических процессов человека, зависящих как от врождённых факторов, так и от тренировки и совершенствования данных качеств. Отдельной подструктурой личности является также её индивидуальный социальный опыт, в который входят приобретённые человеком знания, умения, привычки. Очередной подструктурой личности является её направленность, включающая интересы, идеалы, взгляды, убеждения человека, его мировоззрение, особенности характера, самооценки. Данный уровень личности наиболее социально обусловлен, формируется под влиянием семьи и общества.

В биологически обусловленной подструктуре личности особая роль принадлежит типологическим свойствам нервной системы, которые характеризуются силой, динамикой, лабильностью и подвижностью нервных процессов. Данные свойства влияют на лёгкость переключения с одного вида деятельности на другой, на скорость вспоминания и запоминания, на устойчивость к действию монотонии, на уровень работоспособности в условиях утомления. Тип нервной системы, в свою очередь, обусловливает темперамент. Под темпераментом обычно понимают индивидуальные динамические аспекты поведения преимущественно врождённого характера.

Темперамент не определяет уровень профессиональных способностей, люди различного темперамента могут успешно работать в одной области, однако есть профессии, в которых к определённым свойствам темперамента предъявляются очень высокие требования. В данном случае необходимым условием в вопросах качества продукции становится отбор людей с теми типами темперамента, которые являются профессионально значимыми.

Психические и психофизиологические процессы характеризуются когнитивной, моторно-двигательной, эмоционально-волевой сферами и отношениями. Когнитивная сфера отражает по-

знавательные процессы деятельности человека и включает в себя следующие основные составляющие стороны познания: ощущения, восприятие, внимание, память, мышление, воображение. Каждая из данных составляющих задействована в процессе профессиональной деятельности при выполнении конкретного производственного акта и характеризуется определёнными свойствами.

Следует отметить, что среди психических процессов при производственно-технологической деятельности особое место занимают внимание и двигательная память. Внимание — это динамическая сторона сознания, характеризующая степень его направленности на объект и сосредоточения на нём с целью осуществления определённого акта деятельности. Двигательная память лежит в основе многочисленных профессиональных навыков человека.

Также значительное влияние на результаты работы оказывают такие психологические свойства личности, как ответственность, самоконтроль, эмоциональная устойчивость.

Определённым образом на качество продукции могут повлиять также характеристики эмоционально-волевой сферы. К ним относят решительность, настойчивость, самостоятельность, мужество, эмоциональную устойчивость и другие волевые качества и эмоциональные особенности человека.

Для управления рассмотренными выше различными подгруппами индивидуальных особенностей человека требуется детальный анализ их влияния на конкретную профессиональную деятельность с целью обоснования критериев профессионального отбора и разработки обеспечения, направленного на целенаправленное формирование требуемых качеств.

Уровень подготовленности. Влияние данного компонента человеческого фактора (квалификация, опыт) на качество продукции считается наиболее значимым и понятным. Поэтому вопросам обучения и аттестации персонала уделяется значительное внимание. Однако в настоящее время, когда в соответствии с целями Болонского процесса совершенствование качества обучения должно реализовываться на основе *компетентностного* подхода, существует актуальная проблема в управлении данным фактором при профессиональном обучении.

Образовательный процесс в рамках соответствующего направления предполагает *профильную* подготовку, направленную на формирование *специальных компетенций,* необходимых для того, чтобы выпускник вуза мог качественно выполнять производственные задачи сразу после окончания университета. Очевидно, что требования к специальным компетенциям должны исходить в первую очередь из реальной потребности и ожиданий промышленности.

К сожалению, в настоящее время в условиях отсутствия профессиональных стандартов в большинстве случаев специальные компетенции каждый университет формирует самостоятельно, исходя из собственных представлений о требованиях промышленности к компетенциям выпускника вуза.

Сопоставление и анализ специальных компетенций профиля подготовки «Оборудование и технология сварочного производства» по направлению «Машиностроение», сформулированных в образовательных программах разных университетов России, показали, что они существенно отличаются и во многих случаях слабо связаны с требованиями промышленности.

Выход из сложившейся ситуации, по-видимому, возможен при наличии методологии, которая позволила бы обосновать моделирование специальных компетенций (количество, сущность, интерпретация) и выработать единые требования к правилам их целенаправленного формирования.

Предлагаемая в данной работе методология, ориентированная на управление качеством образовательных программ профильной подготовки, базируется на следующих положениях:

1. Сформированные компетенции для производственно-технологической деятельности должны обеспечить *востребованность* выпускника на профессиональном рынке труда.

2. Требования к специальным компетенциям должны учитывать международный опыт в данной области, в частности, требования международных стандартов к профессиональной подготовке в области проектирования, изготовления и менеджмента качества продукции.

3. Сформированные компетенции должны обеспечить качественное выполнение специалистом основных этапов (процессов) изготовления продукции, поэтому обоснование перечня специальных компетенций и их формирование целесообразно осуществлять на основе *процессного* подхода.

4. Из перечня и структуры специальных компетенций должно логически и однозначно трактуемо вытекать содержание образовательной программы.

Применительно к профильной подготовке обоснование специальных компетенций, по нашему убеждению, должно базироваться на требованиях международных стандартов, поскольку в них представлен и систематизирован мировой практический опыт решения инженерных проблем и данные стандарты являются нормативными документами, разработанными на основе консенсуса, они утверждены признанным органом.

Процессы изготовления сварочной продукции относятся к категории «специальных» процессов, и для них базовыми являются следующие международные стандарты:

- *ISO 3834:2005* «Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов» [2], которые регламентируют требования к контролю процессов сварочного производства на этапах производственного цикла и предусматривают механизмы надзора, управления и корректирующих воздействий на всех этапах жизненного цикла. Данный стандарт позволяет оценить способность предприятия удовлетворять требования потребителя.

- *ISO 14731:2006E* «Координация в сварке. Задачи и обязанности» [3]. Данный стандарт устанавливает требования к инженерно-техническому персоналу и содержит однозначное и чёткое описание задач и видов ответственности лиц, осуществляющих надзор за выполнением сварочных работ.

Количество компетенций в методологии обосновывается с позиции процессного подхода, который является базовым методом системы менеджмента качества продукции, так как мировой опыт продемонстрировал, что желаемый результат достигается эффективнее в том случае, когда деятельностью управляют как процессом.

Эффективность профессиональной деятельности работника в целом определяется эффективностью выполнения отдельных этапов работы. Если человек качественно выполняет все процессы профессиональной деятельности и, как следствие, работу в целом, то его можно охарактеризовать как компетентного работника. Поэтому, если обосновать количество этапов профессиональной деятельности как относительно самостоятельных, но взаимосвязанных процессов, выполнение которых требует конкретных компетенций, то представляется возможным обосновать и количество базовых компетенций.

Анализ производственно-технологической деятельности персонала при изготовлении сварочной продукции с учётом требований международных стандартов и должностных обязанностей позволяет нам выделить следующие базовые, относительно самостоятельные, но взаимосвязанные этапы профессиональной деятельности персонала сварочного производства (табл. 1, колонка 1).

Представляется, что данное разбиение цикла производства сварных конструкций на процессы является обоснованным и достаточным, так как охватывает все 22 показателя (табл. 1, колонка 2), проверка и документальное подтверждение которых требуется в соответствии с процедурой сертификации предприятия по международному стандарту ГОСТ Р ИСО 3834.

Таблица 1

Этапы профессиональной деятельности и показатели качества по ГОСТ Р ИСО 3834

Этап (процесс)	Показатели (ГОСТ Р ИСО 3834)	Номер показателя в ГОСТ Р ИСО 3834
1	2	3
1. Технический анализ конструкции и возможностей организации	Обзор требований Технический анализ Субподрядчик	1 2 3
2. Оценка пригодности основного и присадочного материалов	Хранение основных материалов Хранение и применение сварочных материалов Испытания сварочных материалов	15 14 13
3. Планирование изготовления сварной конструкции	Планирование производства Инструкции по сварке Сертификация сварочных процессов Сварщики, сварочные операторы Калибровка и валидация измерительного, контрольного и испытательного оборудования Производственное испытательное оборудование Техническое обслуживание оборудования Описание оборудования	10 11 12 4 19 7 8 9
4. Подготовительная деятельность к сварке	Надзор и испытание до сварки Идентификация основных и сварочных материалов, оборудования	17 20
5. Выполнение сварочных работ	Персонал надзора за сваркой Надзор и испытание во время сварки Термообработка после сварки	5 17 16
6. Контроль качества продукции	Персонал контроля и испытаний Надзор и испытание после сварки Прослеживаемость	6 17 21
7. Анализ несоответствий результатов сварки и принятие корректирующих действий	Несоответствия и корректирующие действия Записи по качеству	18 22

Ниже в табл. 2 представлены задачи инженерно-технического персонала (колонка 2), осуществляющего надзор за выполнением сварочных работ по ISO 14731 (ГОСТ Р 53525-2009), в соответствии с перечнем этапов деятельности (колонка 1).

На основе проведённого анализа существует возможность обосновать количество и сформулировать сущность *специальных компетенций* по профилю подготовки «Оборудование и технология сварочного производства», которые представлены нами в колонке 3 таблицы 2 в соответствии с этапами изготовления продукции сварочного производства.

Таблица 2

Перечень задач (ISO 14731) и компетенции персонала

№ этапа	Перечень задач персонала (ISO 14731)	Специальные компетенции
1	2	3
1	**1. Анализ договора:** возможность организации выполнять сварочные работы. **2. Анализ конструкции:** - соответствующие стандарты, - расположение сварных соединений в соответствии с проектом, - доступность для выполнения сварки и контроля, - отдельные данные по сварному соединению, - требования к качеству и оценке сварных швов. **4. Субподрядчик:** оценка возможностей субподрядчика.	1. Способность провести технический анализ конструкции и возможностей организации выполнить сварочные работы

Продолжение табл. 2

1	2	3
2	**3. Материалы** **3.1. Основной металл:** - свариваемость основного металла, - возможные дополнительные требования к условиям поставки основного металла, - обозначение, хранение и обращение с основным металлом, - обратная отслеживаемость. **3.2. Присадочные материалы:** - пригодность, - условия поставки, - возможные дополнительные требования к условиям поставки присадочных материалов, включая вид изделия присадочных материалов, - обозначение, хранение и обращение с присадочными материалами.	2. Умение оценить пригодность основного и присадочного материалов, организовать их хранение и обслуживание
3	**5. Планирование изготовления:** - пригодность спецификаций по сварке и аттестованных технологий, - рабочая документация, - зажимные и сварочные приспособления, - наличие аттестованных сварщиков, - последовательность сборки и порядок сварки конструкции, - требования к производственным испытаниям сварных швов, - требования к контролю качества сварки, - условия окружающей среды, - здоровье и безопасность. **6. Устройства:** - пригодность сварочных и дополнительных устройств, - идентификация и обращение со вспомогательными устройствами, - безопасность.	3. Способность спланировать изготовление сварной конструкции с учётом факторов, определяющих качество продукции
4	**7. Технологические процессы** **7.1. Подготовительная деятельность:** - предоставление в распоряжение рабочей документации, - разделка кромок, сборка и очистка, - подготовка к контролю при изготовлении, - пригодность рабочего места, включая окружающую среду.	4. Умение осуществить технический надзор за подготовкой кромок к сварке и выполнением сборочных работ
5	**7.2. Сварка:** - распределение сварщиков и инструктаж, - пригодность устройств и принадлежностей, - присадочные материалы и вспомогательные средства, - применение сварки для сборки на прихватках, - установка параметров режима сварки, - применение промежуточного контроля, - предварительный подогрев, - порядок сварки, - термообработка.	5. Умение организовать процесс сварки и осуществлять надзор над выполнением сварочных работ
6	**8. Контроль** **8.1. Визуальный контроль:** - проверка выполнения всех швов, - размеры сварных швов, - форма, размеры и предельные отклонения деталей, - внешний вид шва. **8.2. Контроль с разрушением и неразрушающий:** - применение контроля с разрушением и неразрушающего контроля, - специальный контроль.	6. Умение оценить соответствие критериям приёмки внешним осмотром, методами разрушающих и неразрушающих испытаний

Окончание табл. 2

1	2	3
7	**9. Оценка сварки:** - оценка результатов контроля, - ремонт, повторная оценка отремонтированных мест, - корректирующие действия. **10. Документация:** - подготовка и хранение необходимых отчётов (включая деятельность субподрядчиков).	7. Способность провести анализ несоответствий результатов сварки и предложить корректирующие действия по их устранению, подготовить необходимый отчёт

Предложенная методология в рамках управления человеческим ресурсом позволила обосновать перечень специальных компетенций, которые требуются персоналу для обеспечения качества сварочной продукции.

Функциональное состояние. Проблема функционального состояния связана с результатами работы человека в конкретный момент времени при решении конкретных задач.

Несмотря на актуальность, данная проблема является одной из самых запутанных и наиболее непроработанной даже в психологической науке, особенно в её прикладных разделах. Наблюдается колоссальный разрыв между теоретическими и экспериментальными исследованиями.

С позиции инженерной психологии неблагоприятными для профессиональной деятельности человека являются состояния, при которых возрастает угроза допуска значимых ошибок из-за снижения зрительной чувствительности, дезинтеграции сложных навыков, снижения продуктивности мышления, замедления скорости реакции. К таким состояниям относят утомление, эмоциональную напряжённость, плохое состояние здоровья и состояние монотонности.

Анализ экспериментальных исследований с операторами ультразвукового контроля сварных объектов ответственного назначения [4] позволяет сделать заключение об отсутствии линейных математически описываемых взаимосвязей между функциональным состоянием операторов и результатами их профессиональной деятельности, что объясняется сложностью и неоднозначностью влияния данного многоуровневого субъективного фактора на результаты работы. На основе установления общих закономерностей выявлено, что с понижением показателей функционального состояния операторов УЗК отмечается тенденция к повышению средней ошибки и существенному увеличению разброса результатов производственной деятельности. Выявлена связь между стабильностью-нестабильностью функционального состояния операторов и стабильностью-нестабильностью как результатов контроля в целом, так и точности настройки дефектоскопа.

По-видимому, функциональное состояние человека следует рассматривать в качестве степени психологической готовности реализовать собственные профессиональные возможности, а снижение показателей функционального состояния — как фактор риска, предпосылку к снижению качества результатов работы.

Управлять данным фактором следует путём мониторинга функционального состояния персонала при выполнении ответственных работ.

Процессы управления человеческим ресурсом. После выявления и оценки значимости факторов важным этапом управления человеческим ресурсом является обоснование процессов управления. При производственной деятельности основными процессами управления человеческими ресурсами, в соответствии с руководящими указаниями международных стандартов ИСО серии 9000 и положениями TQM, являются:

- общее и специальное обучение (компетентность, осведомлённость, подготовка) как важный фактор достижения качества;
- ведение записей, касающихся обучения и его результатов, опыта;
- анализ соответствия индивидуальных особенностей работника требованиям, предъявляемым к работе;

- оценка квалификации персонала и наличие средств объективной, количественной оценки квалификации;
- профессиональный отбор как важная задача и фактор, способствующий снижению текучести кадров;
- поддерживание навыков в рабочем состоянии и создание возможностей и средств для повышения профессиональных навыков;
- анализ удовлетворённости работой, обеспечение мотивации.

Следует подчеркнуть, что ключевыми процессами, определяющими качество сварочной продукции, являются профессиональный отбор, профессиональное обучение и оценка квалификации персонала.

Проблеме профотбора в условиях TQM придаётся большое значение. Несоответствие работников психофизиологическим требованиям ведёт не только к снижению качества выпускаемой продукции, но и вызывает повышенную опасность аварий и травм на производстве. В условиях TQM основной акцент в организации отбора должен быть сделан на выявление тех характеристик у персонала, которые позволяют получать качественную продукцию. Большое значение придаётся и такой характеристике претендентов, как способность к обучению. При этом возрастает значимость методик и средств, позволяющих количественно оценивать результаты работы.

Системе профессионального обучения отводится важное место в условиях TQM, так как несоответствие требуемой и фактической квалификации — важнейшая причина низкого качества продукции. Крупные зарубежные предприятия расходуют на подготовку от 5 до 20 % совокупных затрат.

Оценка квалификации персонала в условиях TQM предполагает разработку количественных показателей качества и соответствующих средств оценки результатов его работы. В настоящее время при разработке *профессиональных стандартов* и создании *национальной рамки квалификаций* данные аспекты приобретают особую актуальность.

В контексте TQM система оценки квалификации персонала не только стимулирует работу персонала и позволяет получать информацию об уровне профессиональной подготовки работников, но и снижает конфликты между подчинёнными и руководителями (наличие объективной оценки). Также необходимо, чтобы применяемые процедуры и методы контроля были открытыми и понятными.

Выводы. Важным начальным этапом управления человеческим ресурсом при изготовлении сварочной продукции является идентификация основных факторов и процессов управления. Данная информация является исходной для обоснования и разработки конкретных мер, направленных на планирование, формирование и совершенствование качества продукции.

Библиографический список

1. Управление качеством, персоналом и логистика в машиностроении / Р. Л. Биктимиров [и др.]. — Санкт-Петербург: Питер, 2005. — 256 с.

2. ГОСТ Р ИСО 3834-1-2007. Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 1. Критерии выбора соответствующего уровня требований. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 12 с.

3. ГОСТ Р 53525-2009 (ИСО 14731:2006). Координация в сварке. Задачи и обязанности. — Москва: Стандартинформ, 2010. — 12 с.

4. Коробцов, А. С. Влияние функционального состояния операторов УЗК на результаты профессиональной деятельности / А. С. Коробцов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2005. — Спец. вып.: Проблемы машиностроения. — С. 108—112.

Материал поступил в редакцию 15.12.2011.

References

1. Upravlenie kachestvom, personalom i logistika v mashinostroenii / R. L. Biktimirov [i dr.]. — Sankt-Peterburg: Piter, 2005. — 256 s. — In Russian.

2. GOST R ISO 3834-1-2007. Trebovaniya k kachestvu vy`polneniya svarki plavleniem metallicheskix materialov. Chast` 1. Kriterii vy`bora sootvetstvuyushhego urovnya trebovanij. — Moskva: Standartinform, 2007. — 12 s. — In Russian.

3. GOST R 53525-2009 (ISO 14731:2006). Koordinaciya v svarke. Zadachi i obyazannosti. — Moskva: Standartinform, 2010. — 12 s. — In Russian.

4. Korobczov, A. S. Vliyanie funkcional`nogo sostoyaniya operatorov UZK na rezul`taty` professional`noj deyatel`nosti / A. S. Korobczov // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 2005. — Specz. vy`p.: Problemy` mashinostroeniya. — S. 108—112. — In Russian.

HUMAN RESOURCE IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF WELDED PRODUCTS

A. S. Korobtsov
(Don State Technical University)

The key factors and processes of the human resource management in the quality management system of welded products are considered.
Keywords: *quality, welding, human resource management, special competencies.*

УДК 621.9.06-251:531.31

Моделирование динамики и балансировка гибкого ротора по *n*-й форме изгиба оси

О. О. Полушкин, О. А. Полушкин
(Донской государственный технический университет)

Посредством моделирования динамики гибкого ротора установлены закономерности, определяющие упругий прогиб его оси по собственным формам изгиба и связанные с этим распределённые дисбалансы. Разработана оригинальная методика идентификации параметров модели и балансировки таких роторов по собственным формам изгиба.
Ключевые слова: *гибкие роторы, динамика, балансировка, моделирование.*

Введение. Вследствие конечности изгибной жёсткости оси любого реального ротационного агрегата (ротора) машины он имеет бесконечное множество критических скоростей $\omega_{кpi}$ вращения, соответствующих каждой из i = 1, 2, ..., n, ... собственных форм изгиба его оси [1]. Там же обосновывается, что к гибким следует относить роторы, максимальная эксплуатационная скорость $\omega_э$ которых отвечает условию $\omega_э > 0{,}857\omega_{кp1}$. Гибкий ротор балансируется по n-й форме изгиба [2], если $\omega_{кp(n-1)} < \omega_э \le \omega_{кpn}$. При n = 1 $\omega_{кp(n-1)} = 0$ и гибкий ротор балансируется по 1-й форме изгиба, если $0{,}857\omega_{кp1} < \omega_э \le \omega_{кp1}$.

У каждого реального ротора, сбалансированного на низкой скорости $\omega_б \ll \omega_{кp1}$ по традиционной технологии динамической балансировки с коррекцией дисбалансов в двух плоскостях коррекции у опор, объективно наличие исходного неупругого искривления оси, названного в [1] линией эксцентриситетов масс ротора. Эта линия представляет собой пространственную кривую отклонений (эксцентриситетов) центров масс элементарных сечений ротора, перпендикулярных его оси, от оси его вращения (прямой, соединяющей центры опор). Эту кривую можно разложить по собственным формам исходного неупругого изгиба [3], каждая из которых лежит в некоторой плоскости, содержащей ось вращения ротора.

Вследствие исходного изгиба оси ротора по каждой из собственных форм дисбалансы от него распределяются неравномерно по этой форме. С приведением ротора во вращение со скоростью $\omega > \omega_б$ усилия от этих дисбалансов ведут к упругой деформации оси по всем собственным формам её изгиба. Чем ближе ω к $\omega_{кpi}$, i = 1, 2, ..., n, ..., тем значительнее эта деформация по i-й собственной форме. При $\omega = \omega_{кpi}$ наступает резонанс по i-й форме изгиба.

Существующие методы балансировки гибких роторов (высокочастотная балансировка) не имеют общей теоретической основы. Учёт упругих изгибных деформаций оси гибкого ротора при его балансировке и в эксплуатации «крайне усложняет процесс балансировки и затрудняет установление общей методики балансировки, пригодной для гибких роторов любой категории» [3].

Представленные ниже решения позволяют устранить эти недостатки и создать общий алгоритмический подход к последовательной балансировке гибкого ротора по каждой из i = 1, 2, ..., n собственных форм изгиба.

Моделирование динамики ротора, сбалансированного по *i* = 1, 2, ..., (*n* – 1)-й собственным формам. Объект исследования — двухопорный ротор в виде однородного гладкого кругового цилиндра с исходно изогнутой осью по всем собственным формам. Этот ротор предварительно сбалансирован динамически на низкой скорости вращения $\omega_б \ll \omega_{кp1}$ по традиционной

технологии в двух плоскостях коррекции у опор. Кроме того, он последовательно сбалансирован по i = 1, 2, …, (n − 1)-й собственным формам по специальным методикам, о которых речь пойдёт ниже. Полагаем проведённые балансировки идеальными, поэтому вращение такого ротора со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$ не вызовет дополнительных прогибов оси по i = 1, 2, …, (n − 1)-й собственным формам, а вызовет лишь дополнительный прогиб оси по i = n-й собственной форме. Дополнительный упругий прогиб оси по более высоким формам изгиба при этом будет пренебрежимо малым.

На рис. 1, *а* сплошной линией представлена схема исходного искривления оси ротора по i = n-й собственной форме, а пунктирной линией — её искривление по той же форме после приведения ротора во вращение со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$.

Представим исходное искривление оси ротора по n-й собственной форме изгиба как результат её пластической деформации под действием чередующихся по направлению и равных по модулю сил P, приложенных к ротору в n точках на его оси (см. рис. 1, *б*). Для описания этого искривления нашли реакции $R_A = 0{,}5P$, $R_B = (-1)^{n+1} \cdot 0{,}5P$ опор ротора от действия приложенных сил. Разбив балку на участки 1, 2, …, n + 1, записали для каждого участка выражение для изгибающего момента и, использовав известный из [4] метод расчёта деформаций балок, получили общие уравнения смещений y_n поперечных сечений оси балки, изогнутой под действием приложенной к ней совокупности усилий P:

$$y_n = (-1)^{i-1} \frac{P\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]}{4EJ}\left\{\frac{\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^2}{3} - \frac{l^2}{4n^2}\right\} \text{ — для } (i-1)\frac{l}{n} \le x \le \frac{l}{2n} + (i-1)\frac{l}{n};$$

$$y_n = (-1)^{i-1} \frac{P}{4EJ}\left\{-\frac{\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^3}{3} + \frac{l}{n}\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^2 - \frac{3l^2}{4n^2}\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right] + \frac{l^3}{12n^3}\right\} \text{ — для} \tag{1}$$

$$\frac{l}{2n} + (i-1)\frac{l}{n} \le x \le i\frac{l}{n},$$

где i = 1…n — номер участка балки, содержащего выпуклую или вогнутую волну n-й собственной формы изгиба оси; E — модуль упругости материала упруго деформируемого вала ротора; J — момент инерции сечения вала ротора.

Экстремальное значение $y_{n\max}$ прогиба оси (стрелы прогиба) на каждой i-й волне n-й собственной формы изгиба оси ротора определили из (1) как

$$y_{n\max} = y_n\Big|_{x=\frac{l}{2n}+(i-1)\frac{l}{n}} = (-1)^i \frac{Pl^3}{48EJn^3}. \tag{2}$$

Из (2) нашли значение сил P, которыми нагружена балка по схеме рис. 1, *б*, которое обеспечивает стрелу прогиба $y_{n\max}$ при n-й собственной форме изгиба этой балки:

$$P = (-1)^i \frac{48EJn^3}{l^3} y_{n\max}. \tag{3}$$

Подставив модуль этой силы в (1), получили окончательные выражения для описания исходного неупругого искривления оси ротора по n-й собственной форме:

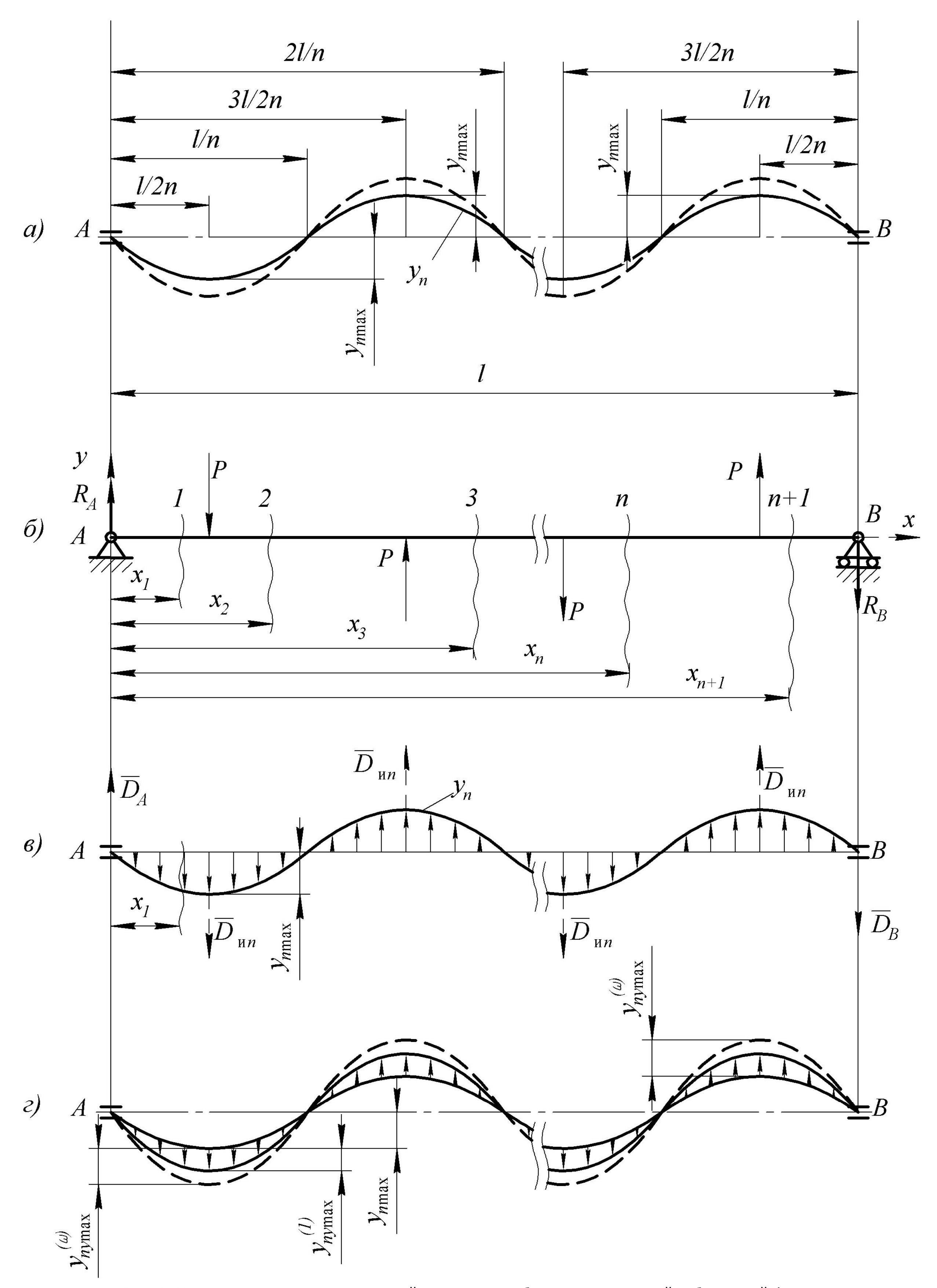


Рис. 1. К определению закономерностей упругого изгиба оси ротора по *n*-й собственной форме

$$y_n = (-1)^{i-1}\frac{12n^3}{l^3}y_{n\max}\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]\left\{\frac{\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^2}{3}-\frac{l^2}{4n^2}\right\} \text{ — для } (i-1)\frac{l}{n}\le x\le\frac{l}{2n}+(i-1)\frac{l}{n};$$

$$y_n = (-1)^{i-1}\frac{12n^3}{l^3}y_{n\max}\left\{-\frac{\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^3}{3}+\frac{l}{n}\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]^2-\frac{3l^2}{4n^2}\left[x-(i-1)\frac{l}{n}\right]+\frac{l^3}{12n^3}\right\} \text{ — для} \quad (4)$$

$$\frac{l}{2n}+(i-1)\frac{l}{n}\le x\le i\frac{l}{n}.$$

Построенная по этим уравнениям линия y_n исходного неупругого искривления оси ротора по n-й собственной форме изгиба представлена сплошной линией на рис. 1, *а*. Такое искривление оси ротора приводит к возникновению на каждом из его участков длиной l/n дисбалансов, распределённых с непостоянной интенсивностью:

$$\overline{d}_{ип}(x) = m_0\overline{y}_n dx. \quad (5)$$

Используя последнее, нашли значение $\overline{D}_{ип}$ главного вектора дисбалансов, обусловленных исходным изгибом оси ротора на участке l/n. Для этого подставили в (5) первое из уравнений (4) и после проведения интегрирования получили

$$\overline{D}_{ип} = \int_0^{l/n}\overline{d}_{ип}(x) = 2m_0\int_0^{l/2n}\overline{y}_n dx = \frac{5}{8}\frac{m}{n}\overline{y}_{n\max}. \quad (6)$$

Приведение рассматриваемого ротора во вращение со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$ вызовет дополнительное (к исходному) упругое искривление его оси по n-й собственной форме. Оно представлено пунктирной линией на рис. 1, *а* и вызвано действием лишь инерционных усилий от дисбалансов, распределённых по (5) и представленных на рис. 1, *в*. Найдём этот прогиб, оперируя значениями дисбалансов, а не инерционными усилиями, им пропорциональными.

Заменив на каждом участке l/n распределённый дисбаланс эквивалентным ему главным вектором дисбалансов $\overline{D}_{ип}$, определённым по (6), нашли реакции опор:

$$\overline{D}_A = 0{,}5\overline{D}_{ип}, \qquad \overline{D}_B = (-1)^{n+1}0{,}5\overline{D}_{ип}. \quad (7)$$

Выделив на левом участке сечение с координатой x_1 (рис. 1, *в*), определили равнодействующий дисбаланс от распределённой нагрузки при $0 \le x \le x_1$ —

$$\overline{D}_{x_1} = \int_0^{x_1} m_0\overline{y}_n dx,$$

что после подстановки первого из уравнений (4) с $i = 1$ и проведения интегрирования позволило получить

$$\overline{D}_{x_1} = \frac{m_0 n}{l}\overline{y}_{n\max}\left(\frac{n^2}{l^2}x_1^4 - \frac{3}{2}x_1^2\right). \quad (8)$$

Координату плоскости приведения дисбаланса $\overline{D}_{x_1}$ определили как

$$x_{1c} = \frac{m_0}{D_{x_1}}\int_0^{x_1} x\cdot y_n dx,$$

что после подстановки (4), (8) и проведения интегрирования дало

$$x_{1c} = x_1 \left(\frac{2}{3} - \frac{4}{15} \cdot \frac{x_1^2}{3\frac{l^2}{n^2} - 2x_1^2} \right). \qquad (9)$$

Изгибающий момент M_{u1} в сечении x_1 с учётом (7)…(9) привели к виду

$$M_{u1} = \frac{m}{n} y_{n\max} \left(\frac{5}{16} x_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{n^2}{l^2} x_1^3 + \frac{1}{5} \cdot \frac{n^4}{l^4} x_1^5 \right). \qquad (10)$$

Дифференциальное уравнение упругой оси ротора на участке $0 \le x_1 \le l/2n$ имеет вид

$$\frac{d^2 y}{dx_1^2} = \frac{\omega^2}{EJ} \cdot \frac{m}{n} y_{n\max} \left(\frac{5}{16} x_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{n^2}{l^2} x_1^3 + \frac{1}{5} \cdot \frac{n^4}{l^4} x_1^5 \right).$$

Интегрируя дважды последнее уравнение с начальными условиями: $x_1 = 0 \to y = 0$, $x_1 = \frac{l}{2n} \to \frac{dy}{dx_1} = 0$, в первом приближении получили уравнение упруго деформированной оси ротора на участке $0 \le x_1 \le l/2n$ от действия неуравновешенности, обусловленной исходным неупругим искривлением этой оси по *n*-й собственной форме, при приведении ротора во вращение со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$ —

$$y^{(1)} = y_{ny}^{(1)} = \frac{\omega^2}{EJ} \cdot \frac{m}{n} y_{n\max} \left(\frac{61}{1920} \cdot \frac{l^2}{n^2} x_1 - \frac{5}{96} x_1^3 + \frac{1}{40} \cdot \frac{n^2}{l^2} x_1^5 - \frac{1}{210} \cdot \frac{n^4}{l^4} x_1^7 \right). \qquad (11)$$

На участке $l/2n \le x_1 \le l/n$ упругий изгиб оси будет симметричным относительно точки $x_1 = l/2n$, в которой имеет место экстремум упругого прогиба оси (рис. 1, *г*):

$$y_{ny\max}^{(1)} = a_n \cdot y_{n\max}, \qquad a_n = 0{,}01 \frac{\omega^2 m l^3}{EJ \cdot n^4}, \qquad (12)$$

где a_n — коэффициент упругого приращения стрелы прогиба оси ротора по *n*-й собственной форме изгиба при его вращении со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$.

Последний результат получили подстановкой $x = l/2n$ в (11). Анализируя его, отметим, что значение a_n представляет собой не что иное, как аналитическое выражение квадрата отношения $\omega/\omega_{крn}$, так что

$$\omega_{крn} = 10 n^2 \sqrt{\frac{EJ}{ml^3}} = \omega_{кр1} \cdot n^2. \qquad (13)$$

Поэтому для рассматриваемого ротора любая *n*-я критическая скорость больше первой критической $\omega_{кр1}$ в n^2 раз, и поскольку $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$, то $a_n \le 1$.

Как отмечено выше, уравнения (11), (12) позволяют лишь в первом приближении оценить дополнительный упругий прогиб оси ротора от исходного её искривления по *n*-й собственной форме со стрелой $y_{n\max} \ne 0$ (рис. 1, *а*). Найденные по этим уравнениям значения $y_{ny}^{(1)}(x_1)$ и $y_{ny\max}^{(1)}$ приводят к появлению новых распределённых неравномерно дисбалансов (показаны на рис. 1, *г*) дополнительно к дисбалансам от исходного неупругого искривления оси ротора по *n*-й собственной форме. Эти дополнительные дисбалансы ведут к новому дополнительному упругому прогибу оси ротора по *n*-й собственной форме и т. д. Учитывая это и используя формулу суммы членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии, нашли стрелу прогиба оси ротора в установившемся его вращении со скоростью ω:

$$\overline{y}^{(\omega)}_{ny\max} = \overline{y}_{n\max}\sum_{k=1}^{\infty} a_n^k = \frac{a_n \cdot \overline{y}_{n\max}}{1-a_n}, \qquad a_n < 1. \tag{14}$$

Заметим, что при $a_n \to 1$ стрела дополнительного упругого прогиба оси нежёсткого ротора по n-й собственной форме $y^{(\omega)}_{ny\max} \to \infty$. При отсутствии исходного неупругого искривления оси ротора по n-й собственной форме ($y_{n\max} = 0$) расчёт по (14) даёт $y^{(\omega)}_{ny\max} = 0$ при $a_n < 1$. При $a_n = 1$ тот же случай приводит к неопределённости, отражающей неустойчивое состояние ротора, когда бесконечно малое значение $y_{n\max}$ приводит к неограниченному росту $y^{(\omega)}_{ny\max}$, характерному для резонансного режима.

Поскольку упругий и исходный (неупругий) прогибы оси ротора по каждой n-й собственной форме (n = 1, 2, …) лежат в одной осевой плоскости, суммарная стрела прогиба оси по n-й собственной форме определится как

$$\overline{Y}^{(\omega)}_{n\max} = \overline{y}_{n\max} + \overline{y}^{(\omega)}_{ny\max} = \frac{\overline{y}_{n\max}}{1-a_n}. \tag{15}$$

При $a_n > 1$ расчёт по (14) даёт $y^{(\omega)}_{ny\max} < 0$ и (15) приводит к $Y^{(\omega)}_{n\max} < y_{n\max}$. Это согласуется с теорией колебаний валов, констатирующей уменьшение неупругой деформации валов при их вращении со скоростями выше критических. Однако при пуске машины переход $\omega = \omega_{крn}$ может привести к негативным для всей конструкции машины последствиям и потому недопустим без проведения балансировки по n-й собственной форме.

Для жёстких роторов $a_n \approx 0$, и потому для них $y^{(\omega)}_{ny\max} = 0$ и $Y^{(\omega)}_{n\max} = y_{n\max}$.

Механико-математическая модель неуравновешенности ротора, балансируемого по *n* > 1-й собственной форме изгиба. На каждом участке ротора, имеющем длину l/n, деформации оси на скорости ω будут приводить к возникновению результирующего локального вектора $\overline{D}^{(\omega)}_{un}$ распределённых неравномерно дисбалансов (рис. 1, *г*), определяемого с помощью (6) как

$$\overline{D}^{(\omega)}_{un} = \frac{5}{8}\cdot\frac{m}{n}\overline{Y}^{(\omega)}_{n\max} = \frac{5}{8}\cdot\frac{m}{n}\cdot\frac{\overline{y}_{n\max}}{1-a_n}, \tag{16}$$

где $\overline{Y}^{(\omega)}_{n\max}$ определено по (15), а $a_n < 1$ по (12). Приложен $\overline{D}^{(\omega)}_{un}$ в центре каждого рассматриваемого участка ротора длиной l/n (аналогично тому, как приложены векторы $\overline{D}_{un}$ на рис. 1, *в*).

Приведём всю совокупность определённых по (16) результирующих дисбалансов $\overline{D}^{(\omega)}_{un}$ к главному вектору $\overline{D}^{(\omega)}_{cmn}$ и главному моменту $\overline{M}^{(\omega)}_{Dn}$ дисбалансов ротора в целом, имеющих место при вращении его со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$:

$$\overline{D}^{(\omega)}_{cmn} = \frac{1-(-1)^n}{2}\overline{D}^{(\omega)}_{un}, \qquad \overline{M}^{(\omega)}_{Dn} = \frac{1-(-1)^{n+1}}{2}\overline{D}^{(\omega)}_{un}\cdot\frac{l}{2}. \tag{17}$$

При принятой на рис. 1 системе отсчёта деформаций оси ротора, когда на первом слева участке оси протяжённостью l/n имеет место $y \le 0$, $\overline{D}^{(\omega)}_{cmn}$ будет всегда направлен в сторону $\overline{y}_{n\max}$ на этом участке и приложен в центре пролёта l между опорами ротора. При этом $\overline{D}^{(\omega)}_{cmn} \ne 0$ и $\overline{M}^{(\omega)}_{Dn} = 0$ будет иметь место лишь для нечётных номеров n собственных форм изгиба оси ротора. Главный момент $\overline{M}^{(\omega)}_{Dn}$ дисбалансов ротора будет иметь место лишь для чётных значений n при

$\overline{D}_{cmn}^{(\omega)} = 0$. Этот момент лежит в плоскости исходной деформации оси ротора по чётной n-й собственной форме изгиба и при принятой и оговорённой выше системе отсчёта этих деформаций он будет направлен против часовой стрелки. При отсутствии исходного искривления оси ротора по n-й собственной форме стрела такого искривления на участке l/n оси ротора $y_{n\max} = 0$, и значения $\overline{D}_{cmn}^{(\omega)}$, $\overline{M}_{Dn}^{(\omega)}$ обращаются в ноль при любом $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$.

Если рассматриваемый ротор при $y_{n\max} \ne 0$ привести во вращение со скоростью ω на балансировочном станке, то измерительная система станка зафиксирует в плоскостях коррекции 1, 2 необходимость установки в них корректирующих дисбалансов $\overline{D}_{kn1}^{(\omega)}$, $\overline{D}_{kn2}^{(\omega)}$, параллельных при нечётном и антипараллельных при чётном n:

$$\overline{D}_{kn1}^{(\omega)} = -\overline{D}_{cmn}^{(\omega)} \frac{0,5l - C}{B} - \frac{\overline{M}_{Dn}^{(\omega)}}{B}, \qquad \overline{D}_{kn2}^{(\omega)} = -\overline{D}_{cmn}^{(\omega)} \frac{0,5l - A}{B} + \frac{\overline{M}_{Dn}^{(\omega)}}{B}, \tag{18}$$

где A, C — расстояния от опор ротора до ближайших плоскостей коррекции; B — расстояние между плоскостями коррекции; $l = A + B + C$.

Уравнения (17), (18) и соотношения (12), (16), раскрывающие входящие в них величины, представляют собой механико-математическую модель неуравновешенности ротора, балансируемого по ($n > 1$)-й собственной форме изгиба. Входом этой модели является варьируемое значение $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$. Собственные свойства модели характеризуются значением и углом стрелы $\overline{y}_{n\max}$ исходного искривления оси ротора по n-й собственной форме изгиба, а также параметрами m, E, J, l, A, B, C конструкции ротора, определяющими по (12) комплексную характеристику a_n и входящими в (18). Выходы модели — характеристики неуравновешенности ротора ($\overline{D}_{un}^{(\omega)}$, $\overline{D}_{cmn}^{(\omega)}$, $\overline{M}_{Dn}^{(\omega)}$, $\overline{D}_{kn1}^{(\omega)}$, $\overline{D}_{kn2}^{(\omega)}$), определяемые по (16)…(18) при любом $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$.

Идентификация параметров механико-математических моделей неуравновешенности роторов и их балансировка. Практическое использование построенной модели неуравновешенности для решения задач балансировки ротационных агрегатов машин при их проектировании, производстве, эксплуатации, ремонте требует знания всех характеристик и параметров собственных свойств. К ним относятся отмеченные выше $\overline{y}_{i\max}$ — стрелы исходного неупругого прогиба оси ротора по i = 1, 2, …, n, … собственным формам изгиба, а также значения m, E, J, l, A, B, C. Все эти характеристики для полного множества ротационных агрегатов каждого наименования являются случайными величинами с различными уровнями рассеивания их значений.

На проектной стадии создания ротационного агрегата конструктор имеет дело с оценочными (практически предельными, наиболее вероятными) значениями характеристик и параметров собственных свойств объекта моделирования, что позволяет прогнозировать с помощью модели неуравновешенное состояние ротационного агрегата на работающей машине и обеспечивать тем самым принятие обоснованных решений по его балансировке. Поэтому все параметры модели неуравновешенности проектируемого ротационного агрегата могут быть с той или иной достоверностью определены по различного рода справочным источникам. При этом в расчётах должны приниматься такие их значения, которые обеспечивают прогнозирование практически предельного возможного неуравновешенного состояния проектируемого ротора.

Использование модели неуравновешенности для проведения балансировки конкретного типоразмера ротора требует знания точных значений всех параметров и характеристик собственных свойств модели каждого балансируемого экземпляра ротора. Если этот типоразмер ротора необходимо балансировать по $i = n$-й собственной форме, то он должен проходить балансировку

последовательно по i = 1, 2, ..., n-й собственным формам. При этом для каждой из форм должна быть построена модель неуравновешенности с точными значениями всех параметров и характеристик собственных свойств.

Выражение для a_n по (12) можно представить как

$$a_n = \beta_n \cdot \omega^2; \quad \beta_n = 0,01\frac{ml^3}{EJ \cdot n^4} = \frac{\beta_1}{n^4}, \tag{19}$$

получив выражение для комплексной характеристики β_n собственных свойств модели неуравновешенности ротора, балансируемого на любой n-й собственной форме. По своему физическому смыслу β_n — величина обратная квадрату $\omega_{крn}$ по (13). Эта характеристика определяется параметрами m, l, E, J модели, о которых речь велась выше. При балансировке ротора по любой собственной форме точному определению должны подвергаться значения $\overline{y}_{n\max}$ и β_n, т. к. именно эти характеристики и определяют выходы модели по (16)...(19) как функции ω.

Балансировка по 1-й собственной форме изгиба требует проведения низкочастотной балансировки на скорости $\omega_б \ll \omega_{кр1}$, что предопределяет специфику балансировки роторов по этой форме, теоретически обоснованную и практически апробированную [1]. Там же представлена методика идентификации значения β_1, входящего в (19).

С решением последней задачи и расчётом β_n по последнему уравнению, идентификации подлежит лишь параметр $\overline{y}_{n\max}$ — стрела исходного искривления оси ротора по n-й собственной форме изгиба (рис. 1, $а$).

Приводя ротор во вращение на балансировочном станке со скоростью $\omega_{кр(n-1)} < \omega \le \omega_{крn}$, будем иметь зафиксированными измерительной системой станка значения и углы корректирующих дисбалансов $\overline{D}_{kn1}^{(\omega)}$, $\overline{D}_{kn2}^{(\omega)}$ в плоскостях коррекции у опор ротора. Для нечётных значений $n > 1$ эти дисбалансы будут параллельными, для чётных — антипараллельными.

Имея определёнными эти дисбалансы, исходя из (17), (18), получили общее выражение для значения $D_{ип}^{(\omega)}$ результирующего вектора $\overline{D}_{ип}^{(\omega)}$ распределённых неравномерно на участке l/n дисбалансов ротора:

$$D_{ип}^{(\omega)} = \left(D_{kn1}^{(\omega)} + D_{kn2}^{(\omega)}\right)\left[\frac{1-(-1)^n}{2} + \frac{1+(-1)^n}{2} \cdot \frac{B}{l}\right]. \tag{20}$$

Последнее с помощью (16) позволяет идентифицировать значение параметра $\overline{y}_{n\max}$ как

$$y_{n\max} = \frac{8}{5} \cdot \frac{n}{m}\left(D_{kn1}^{(\omega)} + D_{kn2}^{(\omega)}\right)\left[\frac{1-(-1)^n}{2} + \frac{1+(-1)^n}{2} \cdot \frac{B}{l}\right]\left(1 - \frac{\beta_1}{n^4}\omega^2\right). \tag{21}$$

Угол γ_{n1} вектора $\overline{y}_{n\max}$ на первой волне в системе координат, связанной с ротором, определяется как $\gamma_{n1} = \phi_1 + \pi$, где ϕ_1 — зафиксированный балансировочным станком угол корректирующего дисбаланса $\overline{D}_{kn1}^{(\omega)}$.

Последующая балансировка ротора по каждой из i = 2, 3, ..., n форм изгиба сводится к установке во всех n точках экстремума изгиба его оси корректирующих дисбалансов $\overline{D}_о = -\overline{D}_{ип}$, определённых по (6).

Заключение. Для ротора, имеющего $\omega_{кр(n-1)} < \omega_э \le \omega_{крn}$ и потому требующего последовательной балансировки по i = 1, 2, ..., n-й собственным формам изгиба оси, все параметры его механико-математических моделей неуравновешенности при балансировке по каждой собственной форме

определяются по представленным выше соотношениям. Эти модели могут успешно использоваться для решения задач балансировки как при проектировании роторов, так и в их производстве и эксплуатации.

Библиографический список

1. Полушкин, О. О. Балансировка нежёстких роторов: монография / О. О. Полушкин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — 169 с.

2. ГОСТ 19534-74. Балансировка вращающихся тел. Термины. — Москва: Изд-во стандартов, 1974. — 29 с.

3. Левит, М. Справочник по балансировке / М. Левит. — Москва: Машиностроение, 1992. — 464 с.

4. Дарков, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. — 3-е изд. — Москва: Высшая школа, 1969. — 734 с.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

References

1. Polushkin, O. O. Balansirovka nezhyostkix rotorov: monografiya / O. O. Polushkin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — 169 s. — In Russian.

2. GOST 19534-74. Balansirovka vrashhayushhixsya tel. Terminy`. — Moskva: Izd-vo standartov, 1974. — 29 s. — In Russian.

3. Levit, M. Spravochnik po balansirovke / M. Levit. — Moskva: Mashinostroenie, 1992. — 464 s. — In Russian.

4. Darkov, A. V. Soprotivlenie materialov / A. V. Darkov, G. S. Shpiro. — 3-e izd. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1969. — 734 s. — In Russian.

DYNAMIC SIMULATION AND FLEXIBLE ROTOR BALANCING IN n^{th} BEND SHAPE

O. O. Polushkin, O. A. Polushkin
(Don State Technical University)

Some mechanisms of determining the flexible rotor axis elastic buckling in the eigenmode bend and thereto related distributed unbalances are specified through its dynamic simulation. A new method of identifying the model parameters and balancing of such rotors in the eigenmode bend is evolved.
Keywords: *flexible rotors, dynamics, balancing, modeling.*

УДК 621.791

Ремонт металлических конструкций морских буровых и нефтедобывающих платформ

В. Ф. Лукьянов, Д. В. Рогозин
(Донской государственный технический университет),
В. А. Грицыхин
(ООО «Донподводстроймонтаж», ООО «Шельф 06»)

Разработана технология ремонта под водой опоры морской буровой платформы из низколегированной стали толщиной стенки 38 мм, обеспечивающая требуемое качество сварного шва без предварительного подогрева основного металла.
Ключевые слова: *ремонт с помощью сварки, сварка под водой, экзотермическая резка, электрод.*

Введение. До недавнего времени основные разведанные запасы нефти располагались на континентальной части земной поверхности. По мере развития технологии добычи нефти области бурения скважин начали смещаться на морской шельф.

На шельфах морей и океанов выявлено около 2 тыс. месторождений нефти и газа с суммарными запасами нефти 40 млрд т и газа 20 трлн м^3; пробурено более 300 тыс. скважин. Почти 100 стран ведут поисковые и эксплуатационные работы в акваториях на глубине до 1,5 км. Темпы освоения морских месторождений нефти и газа ежегодно увеличиваются.

Морские буровые и нефтедобывающие платформы представляют собой внушительные по размеру металлические сооружения, опирающиеся на решётчатые конструкции. В процессе эксплуатации они подвергаются различным нагрузкам — статическим и переменным во времени. В наиболее нагруженных участках в металле накапливаются повреждения и могут возникать трещины. Ситуацию усугубляют коррозионные процессы, которые в морской воде протекают более интенсивно.

Наиболее уязвимым местом буровых платформ являются опорные колонны в узлах соединения с раскосной решёткой. Они подвергаются воздействию морских волн, иногда достигающих высоты более 12 м. Основания платформ периодически осматривают, чтобы вовремя обнаружить повреждения и произвести необходимый ремонт.

Постановка задачи и её решение. Перечень технологических операций, которые необходимо выполнить при ремонте подводной части морских платформ, незначительно отличается от перечня операций при выполнении ремонта наземных сооружений. Однако условия и технология работ, производимых под водой, значительно сложнее.

Конструкции под водой помимо следов коррозии покрыты продуктами жизнедеятельности растений и живых организмов. Это затрудняет контроль состояния поверхности, выявление повреждений и трещин, препятствует выполнению сборки и сварки при ремонте.

Резка является одним из наиболее часто выполняемых видов работ под водой. Для резки под водой можно использовать различные методы, как механические (с помощью цепных или дисковых пил, абразивных дисков и др.), так и электродуговые (с применением трубчатых электродов, через которые подаётся режущий кислород).

Традиционно в течение многих лет применялась электродуговая или электрокислородная резка чёрных металлов.

Последнее время всё большее распространение получает экзотермический способ резки материалов, основанный на горении металла в среде кислорода. Нагрев металла, вызывающий экзотермическую реакцию, осуществляется за счёт горения дуги.

Экзотермическая резка является более производительной по сравнению с традиционной электродуговой.

Для экзотермической резки применяются специальные трубчатые электроды, состоящие из внутреннего тепловыделяющего элемента и стержней из низкоуглеродистой стали, которые установлены в металлической трубке, покрытой изолирующим материалом. Конструкция электрода обеспечивает обгорание изоляции одновременно с трубчатым электродом. Тепловыделяющий элемент по составу подобен термитной смеси, включающей в себя материалы с высокой теплотой образования оксидов (алюминий, магний, титан и их сплавы).

В настоящее время наибольшее распространение получили электроды для экзотермической резки под водой американской фирмы BROCO.

Электроды диаметром 6 мм предназначены в основном для резки металла толщиной от 6 до 12 мм и позволяют проводить более узкую линию реза. Электродами диаметром 9,5 и длиной 450 мм рекомендуется выполнять работы по резке материала толщиной от 12 мм. При выполнении работ на больших глубинах, а также при необходимости выполнять длинные прямолинейные резы, при невозможности часто производить смену электродов, или в ситуациях, не позволяющих водолазу-резчику приблизиться к линии реза, рекомендуется использовать электроды длиной 915 мм. В табл. 1 приведены характеристики электродов для экзотермической резки под водой.

Таблица 1

Длина разрезаемого участка одним электродом, мм

Марка электрода	Толщина разрезаемого материала, мм			
	8	15	25	35
1418UW_25	500	250	Не используется	Не используется
3818UW_25	Не используется	400	350	300
3836UW_25	Не используется	900	700	500

Резка электродами ЭТС-1 и BROCO может осуществляться без подачи электрического тока, который необходим только для поджига электрода на начальном этапе горения. Резка электродами ЭТС-2 и ЭТС-3 возможна только при условии подпитки электрическим током.

Ремонт металлических конструкций платформ выполняют с применением сварки. В настоящее время для подводных работ в большинстве случаев используется дуговая сварка плавящимся электродом: ручная дуговая сварка покрытым электродом и механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах.

Существуют два основных метода выполнения сварочных работ под водой: сварка в водной среде (сварка мокрым способом); сварка в газовой среде в сухой камере (сварка сухим способом).

При выполнении сварки мокрым способом технологический процесс происходит без каких-либо дополнительных сооружений и устройств. Благодаря этому сварщик имеет большую свободу перемещений, что делает сварку мокрым способом наиболее эффективной и самой экономичной из существующих способов сварки под водой — в первую очередь, при восстановлении металлоконструкций с развитой поверхностью на глубине до 20 м. Выполнение сварки на глубинах более 40—50 м ограничивается возможностями человеческого организма. При глубине 100 м работа почти невозможна.

Существенным недостатком применения сварки мокрым способом является значительное насыщение металла шва и околошовной зоны водородом, что вызывает повышенную пористость швов и охрупчивание металла. Кроме того, из-за непосредственного контакта с водой основного

металла и металла шва теплоотдача стали значительно выше, чем при сварке на воздухе, что может привести к появлению закалочных структур в металле шва и в зоне термического влияния.

Водолаз-сварщик заключён в водонепроницаемый костюм и находится в плотной среде, стесняющей его движения, кроме того, на него действует дополнительное гидростатическое давление, снижающее его подвижность. Водолаз находится в весьма неустойчивом положении с небольшой отрицательной плавучестью.

Ухудшенная видимость и наличие подводных течений создают неблагоприятные условия как для дугового разряда, так и для работы водолаза-сварщика, что отрицательно сказывается на качестве швов и производительности процесса.

По этим причинам некоторые нормативные документы не рекомендуют применение сварки мокрым способом для ремонта тяжело нагруженных элементов металлических конструкций.

Для выполнения сварки мокрым способом хорошо зарекомендовали себя электроды компании BROCO. Выпускают две серии электродов для подводной сварки: недорогая серия EasyTouch для сварки слабонагруженных неответственных конструкций и серия SofTouch для выполнения сварки ответственных конструкций. Механические свойства сварного шва, выполненного электродами серии EasyTouch, находятся на уровне свойств электродов Э42.

Электроды серии SofTouch обеспечивают качество сварного шва, сравнимое со сваркой в обычных производственных условиях. Они могут применяться для сварки швов в различном пространственном положении: горизонтальном, вертикальном, потолочном.

Электроды EasyTouch (серия UW/EZ) выпускают только для сварки углеродистой стали. Электроды SofTouch выпускаются для сварки углеродистой (серия UW/CS) и нержавеющей (серия UW/SS) сталей.

В табл. 2 приведены рекомендованные значения силы тока для каждого типа электродов SofTouch.

Таблица 2

Рекомендованные значения силы тока при подводной сварке

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Тип свариваемой стали	Ток (А) в зависимости от положения шва		
			Горизонтальное	Вертикальное	Потолочное
UW/CS-1	3,2	углеродистая	150–170	140–165	140–160
UW/CS-2	4,0	углеродистая	170–210	170–210	170–190
UW/CS-3	4,8	углеродистая	240–280	240–280	235–275
UW/SS-1	3,2	нержавеющая	130–150	125–145	125–145
UW/SS-2	4,0	нержавеющая	140–200	140–190	140–180

Сварку сухим способом выполняют в глубоководной камере (кессоне), в которой размещаются и сварщик, и сварной узел. Сварка в такой камере осуществляется в газовой среде. Сварные швы не отличаются по качеству от выполненных в обычных атмосферных условиях. Глубоководная камера должна герметично прилегать к ремонтируемому под водой участку конструкции и быль достаточно просторной для работы в ней сварщиков. По этой причине она представляет собой громоздкую конструкцию. Её монтаж на ремонтируемом участке подводного сооружения — это длительный, дорогостоящий и сложный процесс, требующий использования вспомогательных судов и плавучих кранов.

Термин «сварка сухим способом» обозначает выполнение сварки при высоком гидростатическом давлении сварщиком-водолазом, полностью находящимся в сухой среде, созданной под водой.

При глубине до 20 метров кессон может быть заполнен воздухом. При большей глубине он должен быть заполнен смесью гелия и кислорода, в котором независимо от глубины поддерживается парциальное давление кислорода 29,4 кПа.

Ремонт опоры морской буровой платформы. Ремонт под водой проводился для устранения повреждения опоры морской буровой платформы в Южно-Китайском море у берегов Вьетнама на месторождении «Белый тигр».

При плановом обследовании подводной части одной из буровых платформ были выявлены трещины в районе соединения опорной стойки и раскосов причальной платформы (рис. 1).

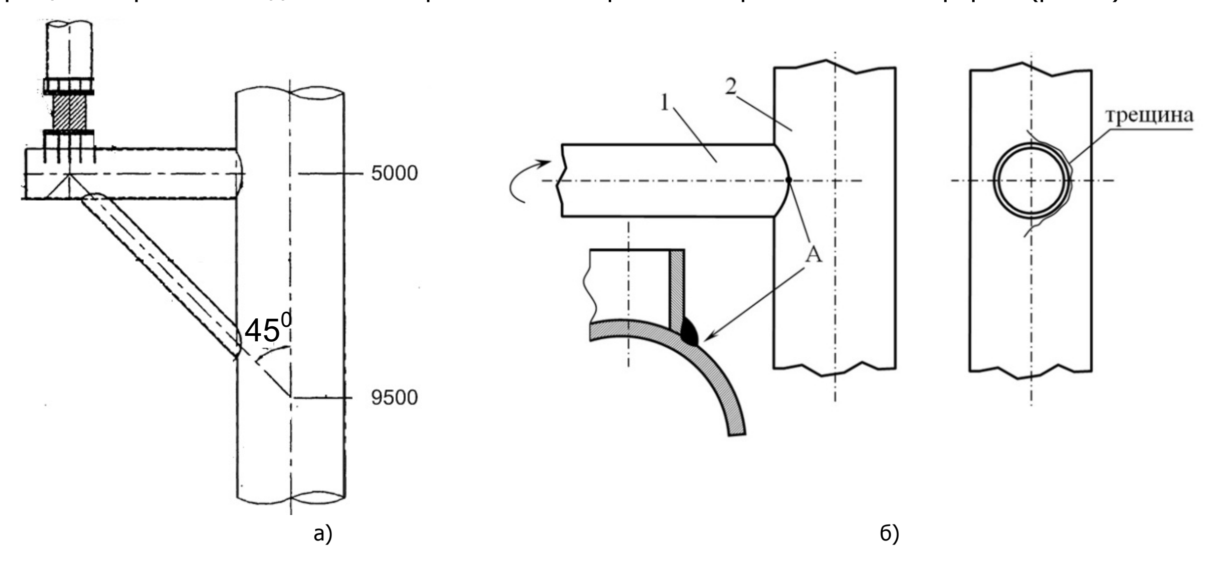


Рис. 1. Узел присоединения причальной платформы (а) и схема расположения трещины (б)

Узел присоединения причальной платформы на уровне 5000 мм представляет собой соединение впритык под прямым углом двух труб диаметром около 1000 мм (раскос) и диаметром 2000 м (опорная стойка). Толщина опорной стойки в месте соединения 38 мм, материал стойки — низколегированная сталь.

Опорные колонны испытывают большие механические нагрузки и коррозионные разрушения под воздействием морской воды, волнения моря, силовых воздействий, например при швартовке судов к платформе. Результаты обследования характера разрушения опоры в районе присоединения причальной платформы позволяют утверждать, что трещина имеет усталостное происхождение. Трещина, образовавшаяся в зоне перехода от шва к основному металлу, в процессе эксплуатации развивалась вначале вдоль линии сплавления. После того как трещина обогнула раскос *1* (рис. 1) по полупериметру, её концы вышли за пределы зоны сплавления и продолжали своё развитие в металле стенки опоры *2*. Рис. 2 иллюстрирует фрагменты развития трещины в опоре.

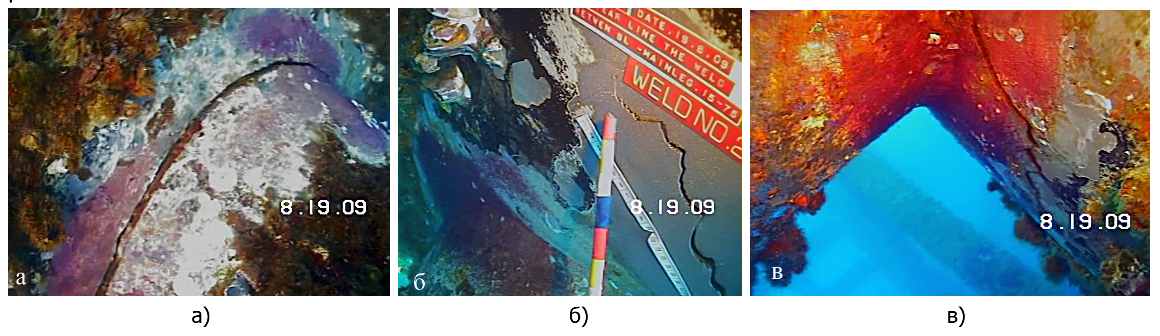


Рис. 2. Фрагменты развития разрушения опоры: в зоне перехода от углового шва к основному металлу (а); развитие трещины по стенке опоры (б), (в)

Погодные условия в месте расположения буровой платформы (волнение моря, подводные течения и др.) позволяют проводить ремонт только в определённый период года. Однако, судя по характеру развития трещины (на рис. 2, *б*, *в* видно зигзагообразное движение трещин и ветвление её концов), можно предположить, что дальнейшее развитие разрушения может привести к отрыву раскоса.

По этой причине были разработаны две технологии ремонта.

По первой технологии предполагалось заварить трещину и установить в месте разрушения усиливающую накладку на стенку опоры. Такая технология позволяла сохранить причальную платформу при условии, что к моменту начала ремонта трещина не получит существенного развития.

Вторая технология предполагала полное удаление раскоса *1* (рис. 1) и установку накладки на отверстие, которое образуется в опорной стойке после удаления раскоса.

При использовании дуговой сварки для ремонта опоры с толщиной стенки 38 мм возникает серьёзная проблема предотвращения образования холодных трещин в околошовной зоне, высокая вероятность появления которых обусловлена большой скоростью охлаждения. При сварке конструкций с такой толщиной стенки рекомендуется выполнять предварительный подогрев для уменьшения скорости охлаждения, но при сварке под водой выполнить нагрев практически невозможно вследствие интенсивного охлаждения металла шва и околошовной зоны.

Для того чтобы исключить подогрев при сварке низколегированных сталей был использован следующий технологический приём. Перед сваркой на свариваемые кромки наплавлялся слой аустенитного металла, затем производилась сварка наплавленных кромок между собой. Такой приём позволяет создать буферный слой из вязкого аустенитного материала, что способствует уменьшению вероятности образования трещин при сварке. Рекомендуется также вместо сварки встык использовать нахлёсточные соединения для снижения остаточных сварочных напряжений, действующих перпендикулярно зоне сплавления.

Обследование, проведённое в 2010 году, показало, что по сравнению с 2009 годом произошли существенные изменения. Трещина обошла по контуру узел присоединения раскоса к опорной стойке, в результате чего в трубе опорной стойки образовалось сквозное отверстие (рис. 3).

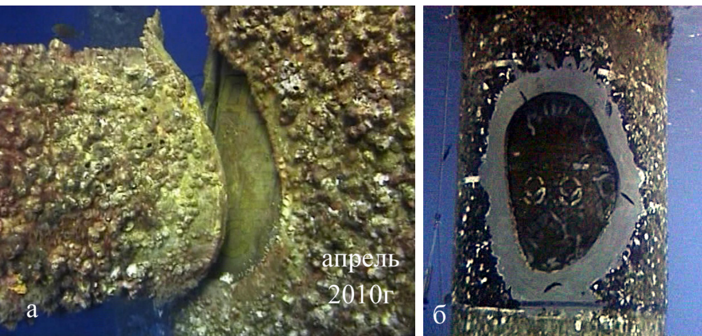
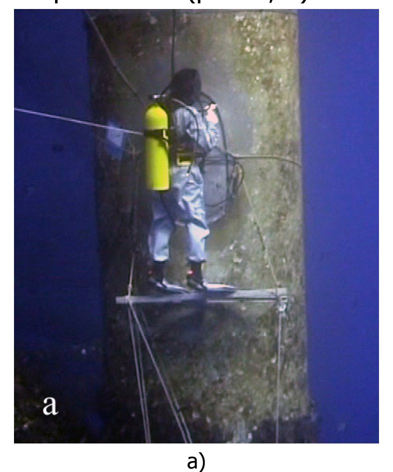
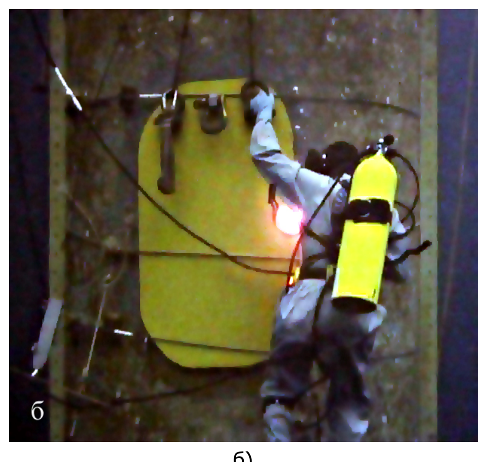


Рис. 3. Разрушение узла сочленения раскоса и опоры, выявленное при обследовании в 2010 г.

Так как ремонт несущей конструкции нефтяных платформ допускается только сухим способом, перед установкой на опору накладки необходимо было герметизировать отверстие. С этой целью внутрь отверстия была введена заглушка в виде изогнутой пластины малой толщины, которую приварили к стенке трубы угловым швом мокрым способом (рис. 4, *а*). Поскольку заглушка не является частью несущей конструкции, применение мокрого способа сварки допустимо. Для сварки были применены аустенитные электроды SofTouch марки UW/SS-1, рекомендуемые компа-

нией BROCO для мокрой сварки. С наружной стороны трубы опоры установили накладку и закрепили её на прихватках (рис. 4, *б*).





а) б)

Рис. 4. Сварка заглушки, герметизирующей отверстие в опоре (а) и сборка на прихватках накладки на опоре (б)

Затем на повреждённую опору устанавливается кессон, и в кессоне обваривается накладка по контуру сухим способом.

Сварка накладки и корпуса опоры выполняется аустенитными электродами в следующем порядке (рис. 5).

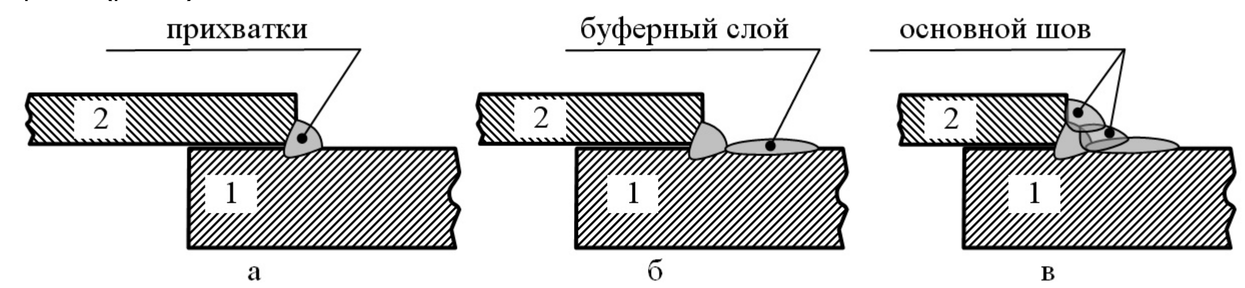


Рис. 5. Последовательность выполнения швов при сварке морской платформы: 1 — стенка корпуса опоры; 2 — накладка

После сборки на прихватках (рис. 5, *а*, мокрая сварка) в кессоне производится зачистка участков поверхности колонны шириной 30—40 мм, прилегающих к торцу накладки вдоль всего её контура до металлического блеска. Затем на поверхность корпуса опоры наплавляется аустенитными электродами буферный слой вдоль контура накладки (рис. 5, *б*, сухой способ). Место примыкания буферного слоя к торцу накладки зачищают для удаления шлаковых включений и предотвращения образования карманов. После этого производят сварку основных угловых швов.

Для обеспечения плавного перехода от шва к основному металлу внешний контур шва необходимо обработать абразивным инструментом.

Наличие на поверхности перлитного корпуса опоры аустенитного шва может способствовать увеличению скорости электрохимической коррозии.

Для предотвращения коррозии в месте ремонта необходимо произвести защитную окраску зоны сварки и установить протекторы.

Выводы. 1. Разработанная технология ремонта под водой была внедрена при устранении повреждения опоры морской буровой платформы в Южно-Китайском море у берегов Вьетнама на месторождении «Белый тигр».

2. Использование буферного слоя из вязкого аустенитного материала на свариваемых кромках из низколегированной стали позволило предотвратить образование трещин при сварке в

металле толщиной 38 мм и обеспечить требуемое качество сварного шва без предварительного подогрева.

3. Остаточные сварочные напряжения, действующие перпендикулярно зоне сплавления, значительно снижаются при изменении конструктивного оформления сварного соединения — например, использование нахлёсточного соединения вместо сварки встык позволило снизить вероятность образования трещин в металле шва.

Библиографический список

1. Кононенко, В. Я. Подводная сварка и резка / В. Я. Кононенко; под общ. ред. Б. Е. Патона. — 2-е изд., доп. и перераб. — Киев, 2011. — 264 с.

2. Хренов, К. К. Подводная электрическая сварка и резка металлов / К. К. Хренов. — Москва: Военное изд-во Мин-ва Вооружённых Сил СССР, 1946. — 160 с.

3. Сварка и свариваемые материалы. В 3 т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справ. изд. / под ред. Э. Л. Макарова. — Москва: Металлургия, 1991. — 528 с.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

References

1. Kononenko, V. Ya. Podvodnaya svarka i rezka / V. Ya. Kononenko; pod obshh. red. B. E. Patona. — 2-e izd., dop. i pererab. — Kiev, 2011. — 264 s. — In Russian.

2. Xrenov, K. K. Podvodnaya e`lektricheskaya svarka i rezka metallov / K. K. Xrenov. — Moskva: Voennoe izd-vo Min-va Vooruzhyonny`x Sil SSSR, 1946. — 160 s. — In Russian.

3. Svarka i svarivaemy`e materialy`. V 3 t. T. 1. Svarivaemost` materialov. Sprav. izd. / pod red. E`. L. Makarova. — Moskva: Metallurgiya, 1991. — 528 s. — In Russian.

OFFSHORE DRILLING AND OIL PRODUCTION PLATFORM METALWORK REPAIR

V. F. Lukyanov, D. V. Rogozin
(Don State Technical University),
V. A. Gritsykhin
(Donpodvodstroymontazh, LLC, Shelf 06, LLC)

The underwater repair technique of the offshore drilling platform low-alloy steel support of 38 mm wall thickness is developed. It ensures the required quality of the weld without preheating the base metal.
Keywords: *welding repair, underwater welding, exothermic cutting, electrode.*

УДК 004.94:621.78

Применение комбинационных колебаний для повышения точности неразрушающего контроля стальных изделий

И. Е. Рогов, А. А. Лаврентьев, С. Д. Анисимов
(Донской государственный технический университет)

Исследуется влияние толщины упрочнённого слоя на сигнал электромагнитного преобразователя и оценивается повышение точности неразрушающего контроля при применении комбинационных колебаний в задачах толщинометрии.
Ключевые слова: *неразрушающий контроль, электромагнитный преобразователь, основные колебания, комбинационные колебания, толщинометрия.*

Введение. Опыт применения методов электромагнитной оценки качества упрочнения по основным гармоникам многочастотного сигнала [1] показал, что при контроле толщины упрочнённого слоя отдельных видов упрочнения поверхности стальных изделий возникает недопустимо большая погрешность. Рассмотрим причину возникновения погрешности, используя уравнения сигнала электромагнитного преобразователя с П-образным ферромагнитным сердечником [2, 3].

Влияние толщины упрочнённого слоя на сигнал датчика. Для большей наглядности будем считать свойства упрочнённого слоя неизменными по глубине. Тогда контролируемое изделие можно рассматривать как состоящее всего из двух слоёв — упрочнённого и основы (рис. 1). Магнитное сопротивление контролируемой среды зависит от толщины h упрочнённого слоя, его можно выразить [4]:

$$\underline{Z}_M^{(k)} = -j\,\frac{2\lambda_{1k}^{(x)}}{\dot{\mu}_1\lambda_{1k}^{(y)}b}\left(1+\frac{\left(\frac{\dot{\mu}_1\lambda_{2k}^{(x)}}{\dot{\mu}_2\lambda_{1k}^{(x)}}-1\right)\exp j\lambda_{1k}^{(x)}h}{\cos\lambda_{1k}^{(x)}h - j\,\frac{\dot{\mu}_1\lambda_{2k}^{(x)}}{\dot{\mu}_2\lambda_{1k}^{(x)}}\sin\lambda_{1k}^{(x)}h}\right), \qquad (1)$$

где $\dot{\mu}_1$ и $\dot{\mu}_2$ — комплексная магнитная проницаемость упрочнённого слоя и основного металла соответственно; b — длина преобразователя;

$$\lambda_{1k}^{(x)} = j\sqrt{j\omega\dot{\mu}_1\sigma_1+\left(\frac{k\pi}{a-c}\right)^2}\ ;$$

$$\lambda_{2k}^{(x)} = j\sqrt{j\omega\dot{\mu}_2\sigma_2+\left(\frac{k\pi}{a-c}\right)^2}\ ;$$

$$\lambda_{1k}^{(y)} = \frac{k\pi}{a-c}\,;$$

где σ_1 и σ_2 — удельная электропроводность упрочнённого слоя и основного металла соответственно; $a-c$ — расстояние между полюсами.

Зависимость ЭДС от толщины h упрочнённого слоя определяется коэффициентом в выражении (1), определяющим отражение волны на границе раздела упрочнённого слоя и основного металла:

$$\frac{\dot{\mu}_1\lambda_{2k}^{(x)}}{\dot{\mu}_2\lambda_{1k}^{(x)}}-1\,. \qquad (2)$$

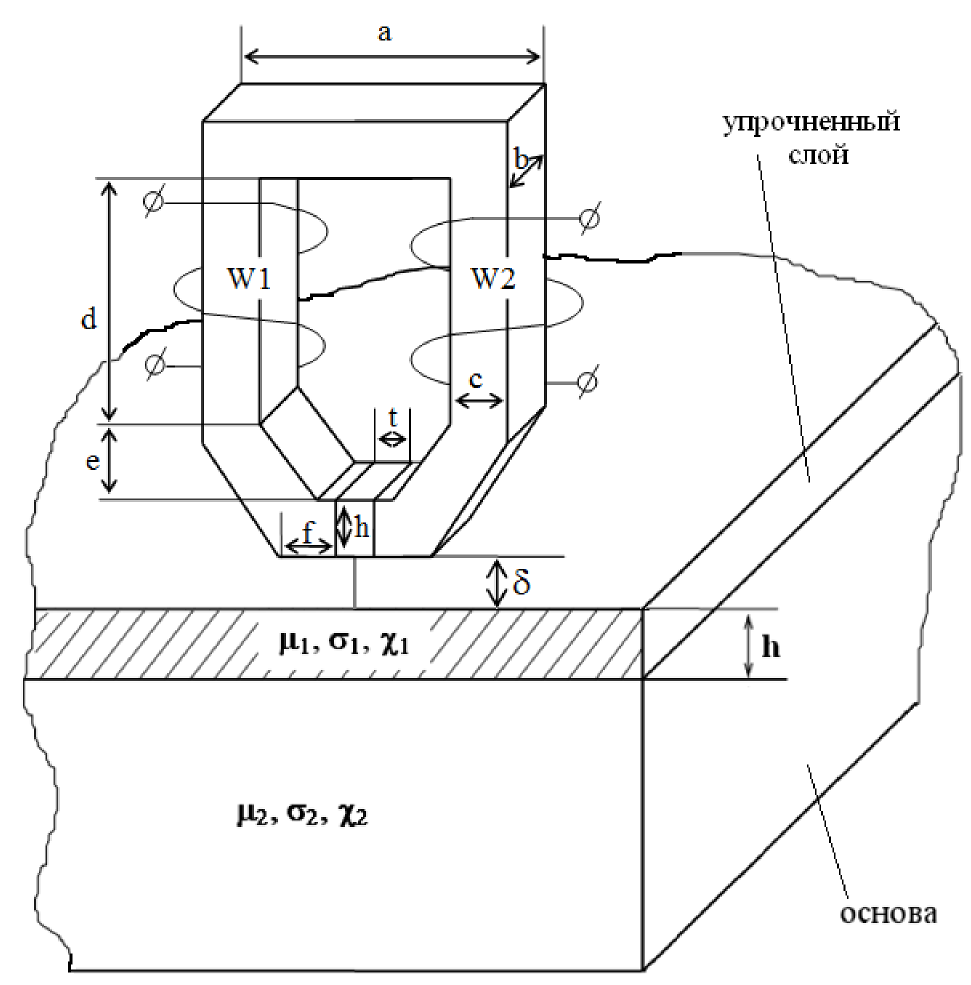


Рис. 1. Электромагнитный преобразователь, установленный над двухслойной средой

Для упрощения анализа рассмотрим только плоскую волну (*k* = 0), которая в выражении (1) превосходит по величине все остальные волны. Коэффициент (2) для плоской волны (при *k* = = 0) примет вид:

$$\sqrt{\frac{\dot{\mu}_1\sigma_2}{\dot{\mu}_2\sigma_1}}-1. \qquad (3)$$

При всех известных видах упрочнения, вызывающих физические дефекты в идеальном кристалле железа, магнитная проницаемость $\dot{\mu}_1$ и удельная электропроводность σ_1 упрочнённого слоя уменьшаются по сравнению с магнитной проницаемостью $\dot{\mu}_2$ и удельной электропроводностью σ_2 основной стали. Если упрочнение изменяет μ и σ пропорционально, то выражение (3) стремится к нулю и преобразователь теряет чувствительность к толщине упрочнённого слоя. В действительности же при упрочнении электрические и магнитные свойства изменяются не пропорционально, поэтому выражение (3) не равно нулю, но имеет небольшую величину. Сигнал отражённой волны на границе раздела слоёв настолько мал, что его могут превосходить помехи, вызванные вариациями $\dot{\mu}_1$, σ_1 в упрочнённом слое и вариациями $\dot{\mu}_2$, σ_2 основного металла. Это и является причиной возникновения недопустимо большой ошибки при контроле некоторых видов упрочнения по основным гармоникам сигнала преобразователя.

Ситуацию можно улучшить, если использовать комбинационные колебания [5, 6], которые возникают при взаимодействии гармонических волн в нелинейной среде. При подаче двух синусоидальных (основных) колебаний с различными частотами f_1 и f_2 в нелинейной среде возникают комбинационные колебания с частотами $\pm I \cdot f_1 \pm J \cdot f_2$, где I и J — целые числа. По сравнению с высшими гармониками комбинационные колебания обладают рядом преимуществ:

— имеют базис, ортогональный базису основных и высших гармоник, поэтому отпадает необходимость в фильтрации токов возбуждения преобразователей;

— частоту комбинационных колебаний можно регулировать, делая её значительно отличной от частоты основных и высших гармоник, что упрощает гармонический анализ сигнала преобразователя;

— амплитуда комбинационных колебаний в рэлеевской области поля значительно превосходит амплитуды высших гармоник при равных действующих значениях токов возбуждения датчика.

Рассмотрим комбинационные колебания в неблагоприятных условиях, когда на границе упрочнённого слоя нет отражения волны, выражение (3) равно нулю и основные гармоники сигнала измерительного преобразователя не зависят от толщины упрочнённого слоя h. Если две синусоидальные волны с тангенциальной напряжённостью H магнитного поля распространяются от поверхности вглубь контролируемого металла с коэффициентами затухания α и коэффициентами фаз β, то в упрочнённом слое эти коэффициенты будут равны:

$$-\alpha_1 - j\beta_1 = j\lambda_{10}^{(x)} = -\sqrt{j\omega\dot{\mu}_1\sigma_1}\ ,$$

а в основном металле:

$$-\alpha_2 - j\beta_2 = j\lambda_{20}^{(x)} = -\sqrt{j\omega\dot{\mu}_2\sigma_2}\ .$$

Для аналитического решения поставленной задачи примем, что при близких значениях частот $\omega_1 \approx \omega_2$ коэффициенты затухания и коэффициенты фаз двух указанных волн соответственно равны между собой. Тогда волновые уравнения в упрочнённом слое примут вид:

$$H_1 = H_m e^{-\alpha_1 x} \sin\left(\omega_1 t + \psi - \beta_1 x\right), \quad H_2 = H_m e^{-\alpha_1 x} \sin\left(\omega_2 t + \psi - \beta_1 x\right), \tag{4}$$

где H_m — амплитуда напряжённости магнитного поля на поверхности упрочнённого слоя. Волны преломляются в основной металл без отражения и описываются уравнениями:

$$H_1 = H_m e^{-\alpha_1 h} e^{-\alpha_2 (x-h)} \sin\left[\omega_1 t + \psi - \beta_1 h - \beta_2 \left(x - h\right)\right], \quad H_2 = H_m e^{-\alpha_1 h} e^{-\alpha_2 (x-h)} \sin\left[\omega_2 t + \psi - \beta_1 h - \beta_2 \left(x - h\right)\right], \tag{5}$$

В работе [5] аналитически доказано, что в нелинейной среде с коэффициентом Рэлея χ в результате взаимодействия двух волн напряжённости будут образовываться комбинационные волны индукции магнитного поля. Так, в упрочнённом слое суммарная комбинационная волна индукции третьего порядка представлена зависимостью:

$$B = -\frac{6\chi_1 H_m^2}{\pi^2} e^{-2\alpha_1 x} \sin\left[\left(\omega_1 + 2\omega_2\right)t + 3\psi - 3\beta_1 x\right]. \tag{6}$$

В основном металле комбинационная волна индукции третьего порядка равна:

$$B = -\frac{6\chi_2 H_m^2}{\pi^2} e^{-2\alpha_1 h} e^{-2\alpha_2 (x-h)} \sin\left[\left(\omega_1 + 2\omega_2\right)t + 3\psi - 3\beta_1 h - 3\beta_2 \left(x - h\right)\right] \tag{7}$$

Из выражений (6) и (7) можно найти комплексные амплитуды индукции в упрочнённом слое и основном металле:

$$\dot{B}_{m1} = -\frac{6\chi_1 H_m^2}{\pi^2}\exp j3\psi \exp\left(-2\alpha_1 - j3\beta_1\right)x\,,$$
$$\dot{B}_{m2} = -\frac{6\chi_2 H_m^2}{\pi^2}\exp\left[\left(\alpha_2-\alpha_1\right)2h + j3\left(\psi - \beta_1 h + \beta_2 h\right)\right]\exp\left(-2\alpha_2 - j3\beta_2\right)x. \tag{8}$$

В соответствии с (8) комплексное значение амплитуды магнитного потока:

$$\dot{\Phi}_m = b\int_0^\infty \dot{B}_m dx = b\int_0^h \dot{B}_{m1}dx + b\int_h^\infty \dot{B}_{m2}dx =$$
$$= -\frac{6b}{\pi^2}H_m^2 e^{j3\psi}\left[\frac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1} + \left(\frac{\chi_2}{2\alpha_2 + j3\beta_2} - \frac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}\right)\exp\left(-2\alpha_1 - j3\beta_1\right)h\right].$$

Этот поток сцеплен с измерительной обмоткой датчика W_2 и, изменяясь с частотой $\omega_1 + 2\omega_2$, наводит в ней ЭДС сигнала комбинационных колебаний:

$$\dot{Э}_p = \frac{6b}{\sqrt{2}\pi^2}W_2 H_m^2 j\left(\omega_1 + 2\omega_2\right)e^{j3\psi}\left[\frac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1} + \left(\frac{\chi_2}{2\alpha_2 + j3\beta_2} - \frac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}\right)\exp\left(-2\alpha_1 - 3j\beta_1\right)h\right]. \tag{9}$$

После упрочнения стали резко изменяется коэффициент Рэлея $\chi_1 \ll \chi_2$, поэтому сигнал комбинационных колебаний (9) даже в отсутствие явления отражения волны на границе двух сред однозначно зависит от толщины упрочнённого слоя.

Таким образом, можно ввести критерий, позволяющий оценить чувствительность сигнала датчика к толщине упрочнённого слоя для основных и комбинационных колебаний и тем самым определить применимость комбинационных колебаний для контроля толщины упрочнённого слоя.

Критерий применимости комбинационных колебаний. Влияние толщины слоя на основные колебания показывает коэффициент отражения (3), который мы будем считать коэффициентом чувствительности по основным колебаниям:

$$K_{осн} = \sqrt{\frac{\dot{\mu}_1\sigma_2}{\dot{\mu}_2\sigma_1}} - 1\,. \tag{10}$$

Коэффициент чувствительности по комбинационным колебаниям определяем по выражению:

$$K_{комбинац} = \frac{\dfrac{\chi_2}{2\alpha_2 + j3\beta_2} - \dfrac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}}{\dfrac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}}\,. \tag{11}$$

Тогда можно ввести критерий применимости комбинационных колебаний для контроля толщины упрочнённого слоя:

$$П = \frac{K_{комбинац}}{K_{осн}}\,. \tag{12}$$

Например, слой на поверхности стали 40Х, прошедшей борирование, закалку и низкий отпуск, имеет следующие параметры:

$$\mu_1 = 42\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м},\ \sigma_1 = 3\cdot 10^{6}\ \text{См/м},\ \chi_1 = 1{,}7\cdot 10^{-2}\ \text{Гн/А}.$$

Основной металл имеет отличные, в особенности по коэффициенту Рэлея, параметры:

$$\mu_2 = 75\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м},\ \sigma_2 = 6\cdot 10^{6}\ \text{См/м},\ \chi_2 = 4{,}7\cdot 10^{-2}\ \text{Гн/А}.$$

В этом случае величина коэффициента (10) мала:

$$K_{осн} = \sqrt{\frac{\mu_1\sigma_2}{\mu_2\sigma_1}} - 1 = 0{,}058\,,$$

что практически не позволяет контролировать толщину упрочнённого слоя по основным гармоникам. Коэффициент

$$K_{комбинац} = \frac{\dfrac{\chi_2}{2\alpha_2 + j3\beta_2} - \dfrac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}}{\dfrac{\chi_1}{2\alpha_1 + j3\beta_1}} = 0,44$$

достаточно велик, и, соответственно,

$$П = \frac{K_{комбинац}}{K_{осн}} = 7,58.$$

Таким образом, комбинационные колебания будут приблизительно в 7 раз эффективнее основных для практического контроля толщины боридного слоя.

Зависимость информативности комбинационных колебаний в сигнале электромагнитного преобразователя по сравнению с основными колебаниями при различных помехах (например, вариации зазора между измерительным преобразователем и контролируемой поверхностью) удалось исследовать благодаря использованию имитационной модели, включающей математическую модель образования сигнала электромагнитного преобразователя, расположенного над нелинейной ферромагнитной проводящей средой с изменяющимися по толщине свойствами [7].

Применение комбинационных колебаний для повышения точности неразрушающего контроля. Сигнал электромагнитного преобразователя зависит от геометрических факторов, толщины упрочнённого слоя *h*, зазора между датчиком и контролируемой поверхностью. Кроме того, сигнал зависит от электромагнитных свойств упрочнённого слоя и основного металла. Электромагнитные свойства определяются структурным состоянием стали и используются для структуроскопии. Роль этих факторов зависит от задачи контроля: например, если контролируется толщина упрочнённого слоя, то все остальные факторы являются мешающими. Влияние каждого фактора удобно представлять нормированным передаточным коэффициентом этого фактора, например, передаточный коэффициент толщины упрочнённого слоя *h*:

$$\dot{a}_h = \frac{h_н}{f} \cdot \frac{\partial \dot{E}(f)}{\partial h}, \tag{13}$$

где $h_н$ — номинальная толщина упрочнённого слоя, f — частота, $E(f)$ — частотная характеристика ЭДС датчика.

Отношение полезного сигнала к помехе оценивается отношением передаточного коэффициента контролируемого фактора к передаточному коэффициенту мешающего фактора, например: $\dot{a}_h / \dot{a}_\rho$.

При контроле электромагнитным преобразователем толщины упрочнённого слоя *h* вариации зазора δ являются мешающими факторами. Нормированный передаточный коэффициент зазора между датчиком и контролируемой поверхностью вычисляется следующим образом:

$$\dot{a}_\delta = \frac{\delta_н}{f} \cdot \frac{\partial \dot{E}(f)}{\partial \delta}, \tag{14}$$

где $\delta_н$ — номинальный зазор между торцом преобразователя и контролируемой поверхностью; E — ЭДС гармоник; f — частота сигнала.

Отношение сигнала к помехе можно отразить отношением передаточного коэффициента контролируемого фактора *h* к передаточному коэффициенту мешающего фактора δ.

На рис. 2 показаны частотные характеристики отношения модулей передаточных коэффициентов толщины упрочнённого слоя и зазора $\dot{a}_h / \dot{a}_\delta$.

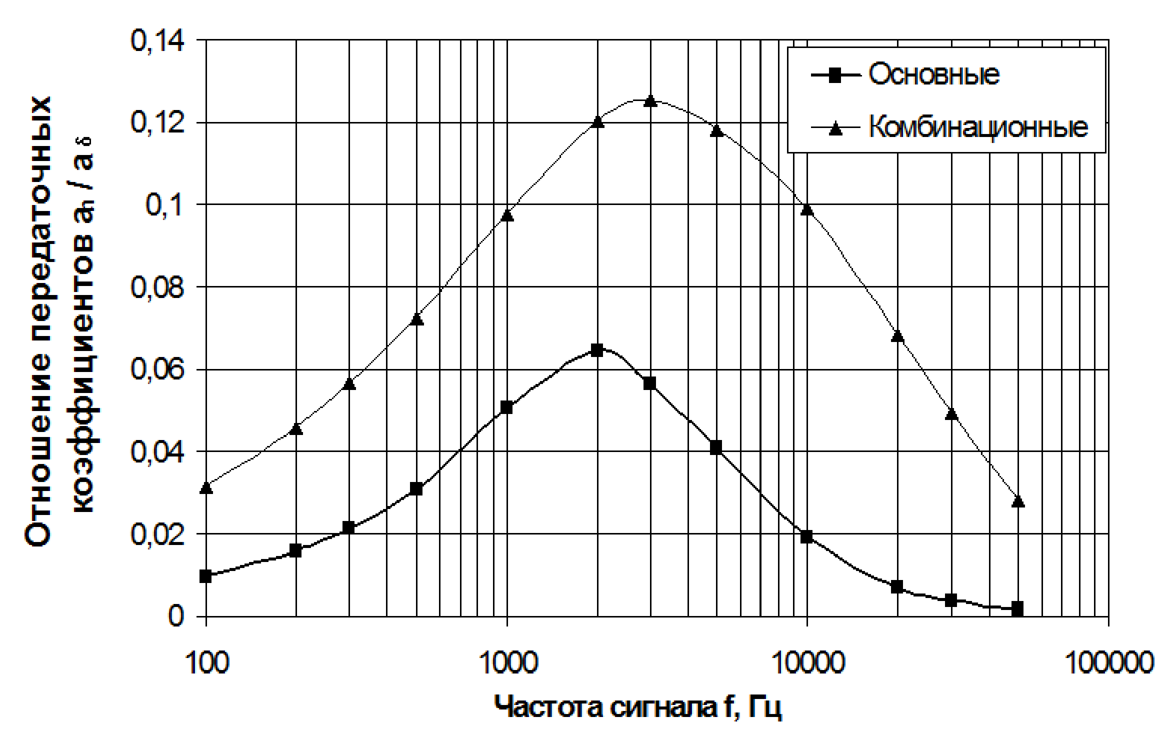


Рис. 2. Частотные характеристики отношения модулей передаточных коэффициентов толщины упрочнённого слоя и зазора

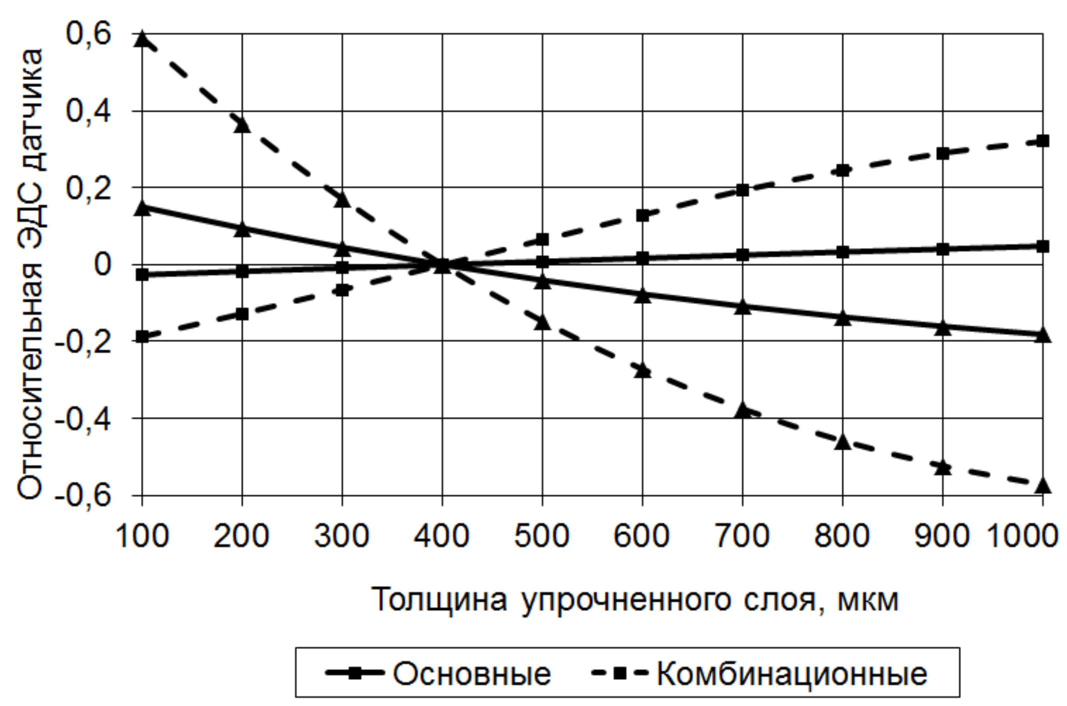


Рис. 3. Зависимость относительной ЭДС датчика от толщины упрочнённого слоя для основных и комбинационных колебаний

На всех частотах отношение сигнала к помехе в комбинационных колебаниях значительно выше, чем в основных гармониках. Исследования на имитационной модели подтверждают, что относительное влияние зазора в комбинационных колебаниях меньше, чем в основных гармониках сигнала датчика, в частности, использование комбинационных колебаний даёт меньшую погрешность контроля по сравнению с основными гармониками при значительных вариациях зазора.

Для выяснения причин, по которым отношение полезного сигнала к помехе в комбинационных колебаниях выше, чем в основных, проведено исследование сигнала дифференциально включённых электромагнитных датчиков. На рис. 3 показана зависимость относительной ЭДС датчика для основных и комбинационных колебаний от толщины упрочнённого слоя. Из приведённых графиков видно, что изменения толщины упрочнённого слоя (полезного сигнала) вызывают гораздо большее изменение ЭДС комбинационных колебаний по сравнению с ЭДС, вызванной основными колебаниями.

Сигнал суммарного комбинационного колебания третьего порядка почти в девять раз больше изменяется по сравнению с сигналом основных гармоник при изменении толщины упрочнённого слоя в пределах от 100 до 1000 мкм.

Влияние толщины упрочнённого слоя на основные гармоники обусловлено двумя процессами: отражением основных волн на границе между упрочнённым слоем и основным металлом и затуханием волны в упрочнённом слое. В результате упрочнения в стали образуется слой с такими электромагнитными свойствами, которые дают слабое отражение на границе раздела слоёв. Поэтому влияние толщины упрочнённого слоя в основных гармониках слабое.

Комбинационные колебания возникают в магнитно-мягкой части основного металла даже в отсутствие отражения, и их сигнал однозначно связан с толщиной упрочнённого слоя из-за затухания в нём этих волн.

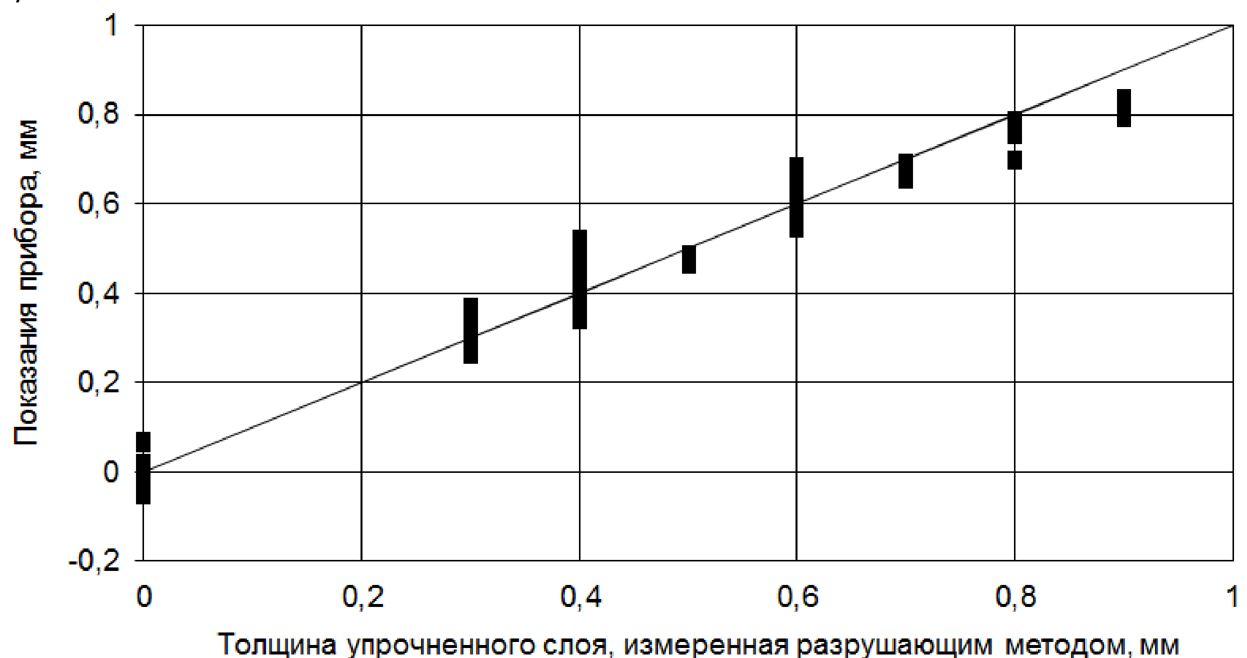


Рис. 4. Сравнение результатов измерения толщины упрочнённого слоя, полученных разрушающим способом с показаниями прибора, использующего комбинационные колебания

Несмотря на то, что комбинационные колебания сильнее основных подвержены мешающему влиянию зазора между датчиком и контролируемым изделием, они подвержены ещё большему влиянию по сравнению с основными колебаниями со стороны контролируемого фактора — толщины упрочнённого слоя. Поэтому отношение полезного сигнала к помехе в них выше, чем в основных гармониках. Использование комбинационных колебаний как компонента многомерного сигнала повышает точность неразрушающего контроля толщины упрочнённого слоя.

Преимущества использования комбинационных колебаний были доказаны экспериментально.

Экспериментальная оценка повышения точности неразрушающего контроля при использовании комбинационных колебаний. Опытный прибор настраивался и испытывался на кольцах карданных подшипников, упрочнённых цементацией, любезно предоставленных нам центральной заводской лабораторией ГПЗ-10. Это были не специально изготовленные образцовые изделия, а серийные кольца, прошедшие разрушающие испытания при периодической проверке технологического процесса цементации. Кольца выбирались с различной глубиной цементации в течение достаточно большого отрезка времени.

На рис. 4 и 5 показаны регрессионные зависимости показаний прибора при измерении толщины упрочнения. Среднеквадратическое отклонение показаний прибора от данных разрушающих испытаний составило 7,4 % от диапазона исследуемых толщин (от 0 до 1 мм). Среднеквадратическая погрешность без использования комбинационных колебаний составила 20,5 %.

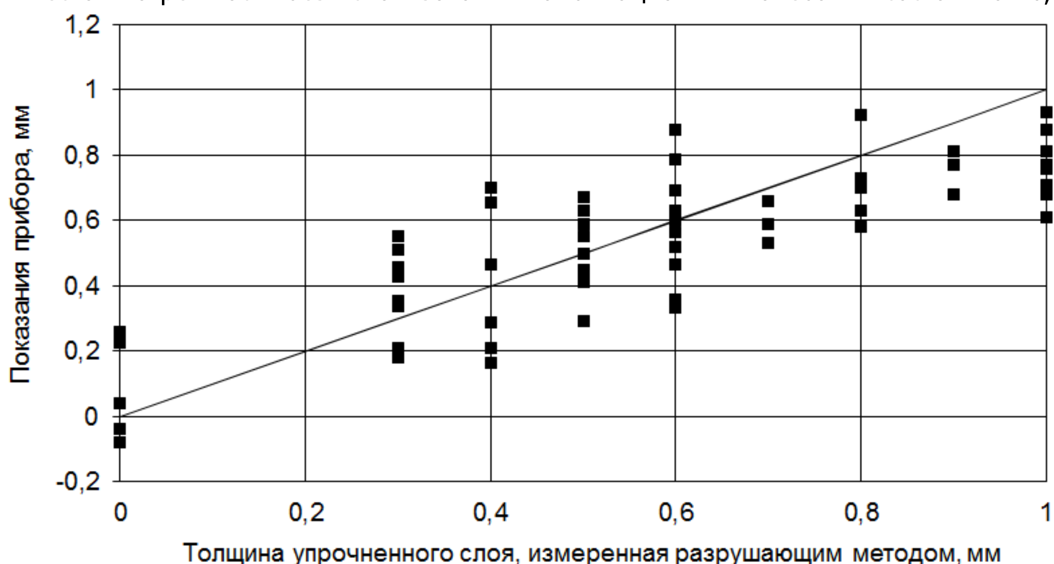


Рис. 5. Сравнение результатов измерения толщины упрочнённого слоя, полученных разрушающим способом с показаниями прибора, использующего основные колебания

Выводы. Несмотря на то, что в сигнале датчика амплитуда комбинационных колебаний намного ниже, чем основных, и их выделение представляет довольно сложную техническую задачу, применение комбинационных колебаний позволяет значительно повысить точность контроля толщины упрочнённого слоя стальных изделий.

Библиографический список

1. Рогов, И. Е. Промышленный контроль качества поверхностного упрочнения в широком диапазоне изменения зазора / И. Е. Рогов, С. Д. Анисимов, С. С. Светашев // Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля. Электромагнитные методы. — Рига: Рижский политехн. ин-т, 1988. — С. 67—71.

2. Рогов, И. Е. Создание математической модели и программы ЭВМ для расчёта комбинационных колебаний сигналов электромагнитных датчиков: Отчёт о НИР по гранту фундаментальных исследований в области энергетики и электротехники / исполнители: И. Е. Рогов, С. Д. Анисимов, Л. Н. Ананченко, Г. С. Голубова, И. Ю. Виноградова. — Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2001. — 16 с. — № ГР 01.980006915, инв. № 02200300133.

3. Анисимов, С. Д. Приближённые уравнения для электромагнитных датчиков с ферромагнитным сердечником / С. Д. Анисимов, А. Г. Волошина, И. Ю. Виноградова, Г. С. Голубова // Дефектоскопия. — 1985. — № 2. — С. 8—16.

4. Анисимов, С. Д. Уравнение сигнала электромагнитного датчика с П-образным ферромагнитным сердечником, расположенного над многослойной контролируемой средой / С. Д. Ани-

симов, И. Ю. Виноградова // Автоматический контроль и управление качеством продукции в сельскохозяйственном машиностроении. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1987. — С. 30—36.

5. Покровский, А. Д. Метод высших гармоник в электромагнитной дефектоскопии / А. Д. Покровский, Ю. П. Хвалебнов. — Москва: Машиностроение, 1980. — 56 с.

6. Анисимов, С. Д. Анализ сигнала электромагнитного датчика при многочастотном контроле / С. Д. Анисимов, И. Ю. Виноградова // Автоматический контроль и управление качеством продукции в сельскохозяйственном машиностроении. — Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1987. — С. 6—11.

7. Рогов, И. Е. Электромагнитный неразрушающий контроль упрочнённого слоя на поверхности стальных изделий / И. Е. Рогов, С. Д. Анисимов, Л. Н. Ананченко, И. Ю. Виноградова // Дефектоскопия. — 2000. — № 1. — С. 18—29.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

References

1. Rogov, I. E. Promy`shlenny`j kontrol` kachestva poverxnostnogo uprochneniya v shirokom diapazone izmeneniya zazora / I. E. Rogov, S. D. Anisimov, S. S. Svetashev // Metody` i pribory` avtomaticheskogo nerazrushayushhego kontrolya. E`lektromagnitny`e metody`. — Riga: Rizhskij politexn. in-t, 1988. — S. 67—71. — In Russian.

2. Rogov, I. E. Sozdanie matematicheskoj modeli i programmy` E`VM dlya raschyota kombinacionny`x kolebanij signalov e`lektromagnitny`x datchikov: Otchyot o NIR po grantu fundamental`ny`x issledovanij v oblasti e`nergetiki i e`lektrotexniki / ispolniteli: I. E. Rogov, S. D. Anisimov, L. N. Ananchenko, G. S. Golubova, I. Yu. Vinogradova. — Rostov-na-Donu: Donskoj gos. texn. un-t, 2001. — 16 s. — # GR 01.980006915, inv. # 02200300133. — In Russian.

3. Anisimov, S. D. Priblizhyonny`e uravneniya dlya e`lektromagnitny`x datchikov s ferromagnitny`m serdechnikom / S. D. Anisimov, A. G. Voloshina, I. Yu. Vinogradova, G. S. Golubova // Defektoskopiya. — 1985. — # 2. — S. 8—16. — In Russian.

4. Anisimov, S. D. Uravnenie signala e`lektromagnitnogo datchika s P-obrazny`m ferromagnitny`m serdechnikom, raspolozhennogo nad mnogoslojnoj kontroliruemoj sredoj / S. D. Anisimov, I. Yu. Vinogradova // Avtomaticheskij kontrol` i upravlenie kachestvom produkcii v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1987. — S. 30—36. — In Russian.

5. Pokrovskij, A. D. Metod vy`sshix garmonik v e`lektromagnitnoj defektoskopii / A. D. Pokrovskij, Yu. P. Xvalebnov. — Moskva: Mashinostroenie, 1980. — 56 s. — In Russian.

6. Anisimov, S. D. Analiz signala e`lektromagnitnogo datchika pri mnogochastotnom kontrole / S. D. Anisimov, I. Yu. Vinogradova // Avtomaticheskij kontrol` i upravlenie kachestvom produkcii v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii. — Rostov-na-Donu: RISXM, 1987. — S. 6—11. — In Russian.

7. Rogov, I. E. E`lektromagnitny`j nerazrushayushhij kontrol` uprochnyonnogo sloya na poverxnosti stal`ny`x izdelij / I. E. Rogov, S. D. Anisimov, L. N. Ananchenko, I. Yu. Vinogradova // Defektoskopiya. — 2000. — # 1. — S. 18—29. — In Russian.

COMBINATION OSCILLATIONS APPLICATION FOR ACCURACY INCREASE OF STEEL PRODUCT NONDESTRUCTIVE TESTING

I. E. Rogov, A. A. Lavrentyev, S. D. Anisimov
(Don State Technical University)

The hardened layer thickness effect on the electromagnetic transducer signal is investigated. The accuracy increase of the nondestructive testing under the combination oscillations in the thickness measurement problems is estimated.
Keywords: *nondestructive testing, electromagnetic transducer, fundamental oscillations, combination oscillations, thickness measurements.*

УДК 620.178.162:621.791.04:621.891

Установка для исследования изнашивания наплавочных материалов при трении качения

В. В. Рубанов, С. Д. Колотиенко
(Донской государственный технический университет)

Исследования изнашивания наплавочных материалов в условиях тяжёлого нагружения при трении качения о закалённую поверхность проводились на специальной установке, на образцах, наплавленных примыкающим индуктором непрерывно-последовательным оплавлением предварительно закреплённого слоя шихты.
Ключевые слова: *нагружающее устройство, контактное давление, эксцентриситет, образец для испытаний.*

Введение. Изучение условий работы наиболее нагружённых кулаков автомата А8122А показало, что их рабочая поверхность испытывает циклические нагрузки, причём максимальные контактные давления, достигающие 1,5—1,8 ГПа, возникают на участках с небольшим углом поворота кулачка, равным 5—10° [1].

Методика исследований. Для лабораторных испытаний наплавочных материалов на износостойкость при трении качения разработана специальная установка [2], схема которой приведена на рис. 1. Установка позволяет проводить испытания в условиях переменных нагрузок и скоростей вращения. Это достигается применением пружинного нагружающего устройства и тем, что расстояния между шпинделями образца и контробразца выбрано меньшим суммы их радиусов.

Установка содержит корпус *1*, закреплённый в корпусе кронштейн *2*, установленный с возможностью вращения шпиндель *3* с испытуемым образцом *4*, закреплённым с эксцентриситетом *е*. Нажимной контробразец *5* установлен на шпинделе *6*, размещённом на кронштейне *7*, который имеет возможность поворачиваться вокруг опоры *8*.

Механизм нагружения включает кронштейн *7*, установленную на нём ползушку *9*, а регулировочный механизм выполнен в виде гайки *10*, закреплённой в корпусе *1*, и винта *11*. Ползушка связана с винтом *11* через пружину *12*.

Установка работает следующим образом. Образцу *4* сообщается вращение. К нему прижимают с определённой нагрузкой контробразец *5*. Благодаря наличию эксцентриситета *е* сжимающая образцы нагрузка будет переменной, что обусловлено поворотом кронштейна *7* вокруг опоры *8* и растяжением-сжатием пружины *12*. Исходная нагрузка устанавливается посредством винта *11* регулировочного механизма, выбора положения ползушки *9* на кронштейне *7* и эксцентриситета *е*. Переменность окружной скорости на поверхности образца *4* обусловлена различными радиусами до поверхности качения.

Для увеличения числа циклов нагружений при испытаниях установка изготовлена с двумя нагружающими головками, закреплёнными на кронштейнах с двух сторон испытуемого образца. Она включает сварной корпус, систему охлаждения, устройства для определения усилий нагружения и величины линейного износа образца.

На верхней плите корпуса установлен электродвигатель постоянного тока мощностью 2,2 кВт с числом оборотов от 50 до 3000 об/мин, который передаёт вращение образцу через червячный редуктор с передаточным отношением 1 : 50.

Нагружающие устройства позволяют достигать максимального усилия в зоне контакта до 7 кН. Конструкция нагружающего устройства реализует три варианта нагружения. Первый вариант нагружения — это создание переменных усилий на рабочей поверхности за счёт эксцентриситета образца, вследствие деформации пружины от нуля до 2 кН. При предварительном нагруже-

нии пружины (второй вариант) можно создавать усилия от заданной величины Р до (Р + 2) кН. Третий вариант позволяет иметь на испытуемой поверхности образца ненагруженные участки, причём остальная часть поверхности может обкатываться с усилиями по первому или второму вариантам нагружения. Это осуществляется, когда образец и контробразцы в исходном положении устанавливаются с зазором. Величины фактических усилий при испытаниях регистрировались тензометрическими датчиками, наклеенными на торец мездозы, связанной с пружиной, и записывались на самопишущем приборе Н-327-3.

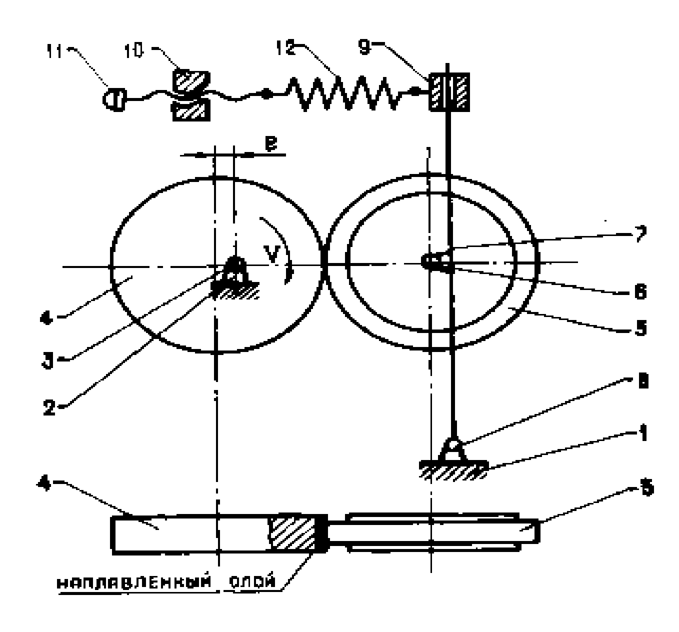


Рис. 1. Схема установки для испытаний на износостойкость наплавочных материалов при трении качения

В процессе испытаний измерялся линейный износ и записывался профиль изношенной поверхности образца с помощью устройства, схема которого показана на рис. 2. Ширина контробразца *1* выбиралась равной половине ширины образца *2*, что обеспечивало наличие неизношенной дорожки на образце, по которой перемещался ролик 4, закреплённый в подпружиненном стакане *5*. Регистрирующий щуп *3*, перемещаясь по изнашиваемой поверхности, передаёт изменение профиля тензобалке *6*. Втулка *7* позволяет предварительно нагружать тензобалку, а когда величина износа превышает измерительный диапазон, проводить корректировку положения тензобалки относительно стакана *5*.

Величина износа рабочего профиля образца определялась по изменению сигнала тензодатчиков через усилитель ТА-5 с помощью осциллографа Н-700.

Для исключения искажения показаний от вибраций запись производилась при пониженных оборотах образца, равных 5 об/мин.

Образец для испытаний, представляющий диск диаметром 120 мм и шириной 10 мм (рис. 3), изготавливался из Стали 45 с проточкой канавки глубиной 1,5 мм и шириной 8 мм. Зона изнашивания, равная 5 мм, находилась на расстоянии 2,5 мм от торца образца. Посадочное отверстие в образце изготавливалось с эксцентриситетом e = 3,5—4,0 мм, что позволяло изменять нагрузки по профилю образца при испытаниях.

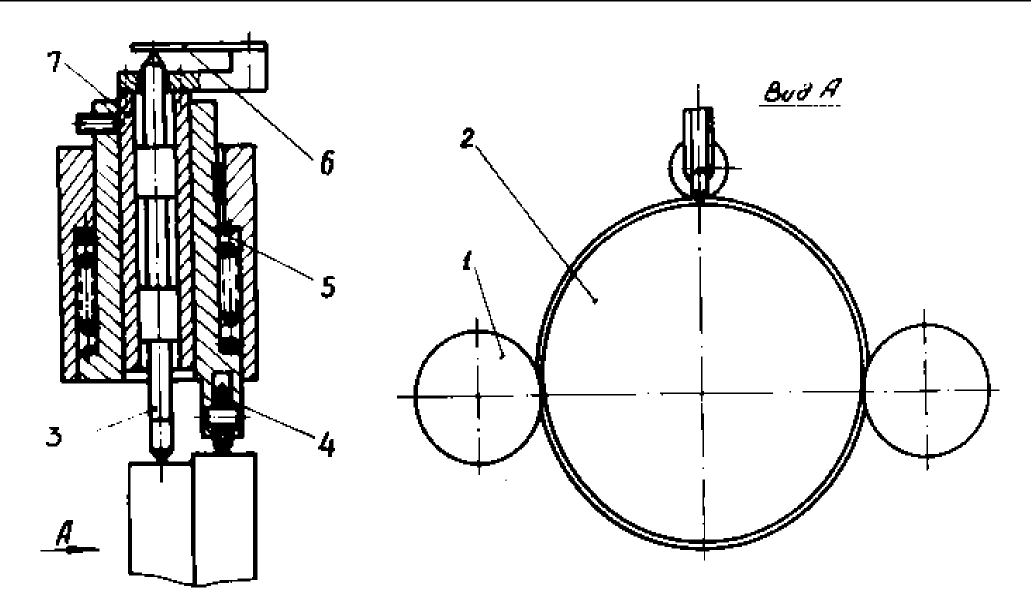


Рис. 2. Схема устройства для измерения износа поверхности образца

Наплавка образцов проводилась на генераторе ЛГЗ-167 непрерывно-последовательным оплавлением примыкающим индуктором слоя шихты, предварительно закреплённого спеканием в керамической форме. После наплавки образцы подвергали нормализации, объёмной закалке и отпуску по режимам Стали 45. Рабочую поверхность образцов шлифовали.

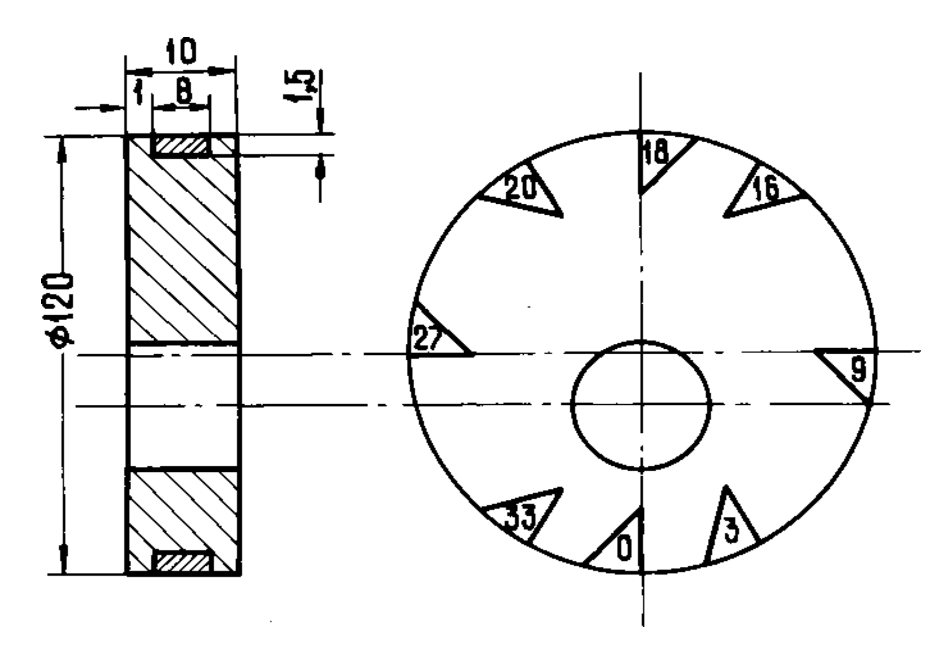


Рис. 3. Образец для испытания износостойкости наплавочных материалов при трении качения (вырезаемые темплеты указаны цифрами в секторах)

Для изучения механизма изнашивания различных структурных зон наплавленного слоя (от зоны сплавления до периферии) посадочное отверстие изготавливали без эксцентриситета, но после наплавки шлифование проводили с эксцентриситетом, равным толщине наплавленного слоя [3].

В качестве контробразцов использовались закалённые и шлифованные ролики из стали ШХ-15 диаметром 50 мм и толщиной 5 мм.

Поскольку на рабочей поверхности образца создаются различные давления и скорости, предварительно на его торце проводилась разметка на 36 равных секторов, что позволяло при исследованиях иметь точные данные о давлениях и скоростях на любом участке изношенной поверхности. Нулевая точка соответствовала минимальной нагрузке, в точке 18 — нагрузки максимальны.

Образцы испытывались с нагружением по второму и третьему вариантам, когда давления по профилю изменяются от 1,3 до 1,8 ГПа, а скорости в диапазоне 1,4—1,6 м/с, что соответствовало условиям эксплуатации кулаков кузнечнопрессовых машин.

Через 1 час испытаний, что соответствовало $2 \cdot 10^4$ циклам нагружений, осуществлялось измерение, запись и корректировка усилий, действующих на испытуемый образец. Одновременно проводилось измерение и запись износа профиля изнашиваемой поверхности.

Для исследования механизма изнашивания исследуемых наплавочных материалов из каждого образца вырезалось 10 темплетов (рис. 3), расположенных в различных зонах приложения нагрузок. Большая часть темплетов вырезалась из наиболее нагружённого сектора, в районе точки 18.

Выводы. Предложенная установка и методика испытания адекватно моделируют комплексные условия работы пар трения в тяжёлых, экстремальных условиях нагружения, позволяющая проводить испытания при трёх различных схемах нагружения. Схема испытания позволяет на одном образце получать зоны с переменной нагрузкой и проскальзыванием.

Библиографический список

1. Сулейманов, В. Н. Исследование изнашивания и повышения износостойкости тяжело нагружённых кулаков кузнечно-прессовых машин, работающих в условиях трения качения: дис. … канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 1978. — 150 с.

2. А. с. 678389 СССР. Установка для испытания на контактную прочность материалов / Л. В. Красниченко, В. Н. Сулейманов, В. В. Рубанов, С. Д. Колотиенко. — Бюл. № 29, 1979. — 6 с.

3. А. с. 1363007 СССР, МКИ[3]. Образец для испытания покрытий на износ / В. В. Рубанов, С. Д. Колотиенко, А. Л. Пивоваров и др. — Бюл. № 48, 1987. — 4 с.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

References

1. Sulejmanov, V. N. Issledovanie iznashivaniya i povy`sheniya iznosostojkosti tyazhelo nagruzhyonny`x kulakov kuznechno-pressovy`x mashin, rabotayushhix v usloviyax treniya kacheniya: dis. … kand. texn. nauk. — Rostov-na-Donu, 1978. — 150 s. — In Russian.

2. A. s. 678389 SSSR. Ustanovka dlya ispy`taniya na kontaktnuyu prochnost` materialov / L. V. Krasnichenko, V. N. Sulejmanov, V. V. Rubanov, S. D. Kolotienko. — Byul. # 29, 1979. — 6 s. — In Russian.

3. A. s. 1363007 SSSR, MKI[3]. Obrazecz dlya ispy`taniya pokry`tij na iznos / V. V. Rubanov, S. D. Kolotienko, A. L. Pivovarov i dr. — Byul. # 48, 1987. — 4 s. — In Russian.

FILLER WEAR TEST FACILITY UNDER ROLLING FRICTION

V. V. Rubanov, S. D. Kolotienko
(Don State Technical University)

Studies on the filler wear under the heavy loading by the hardened surface rolling friction have been carried out on the special facility using test pieces built-up with the abutting inductor through the continuous sequential melting of the prefixed batch layer.
Keywords: *loading device, contact pressure, eccentricity, test piece.*

УДК 62-82

Исследование рекуперативной гидромеханической системы стенда испытаний объёмных гидромашин

А. Т. Рыбак, В. П. Жаров, М. В. Устьянцев
(Донской государственный технический университет),
А. Г. Ефименко
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты исследований рекуперативной гидромеханической системы стенда испытаний объёмных гидромашин. Показаны основы её математического моделирования. Рассмотрены характерные особенности выхода системы на рекуперативный режим, а также факторы, влияющие на его устойчивость.
Ключевые слова: *объёмные гидромашины, гидростатическая трансмиссия, гидромеханическая рекуперативная система привода стенда.*

Введение. Системы приводов машин и агрегатов на основе объёмной гидростатической трансмиссии (ГСТ) широко используются в различных отраслях промышленности. Одним из важнейших путей подтверждения надёжности ГСТ являются её ресурсные испытания, при которых на гидромашинах создаётся нагрузка, эквивалентная режиму работы соответствующей гидромашины. Существуют различные способы создания нагрузки при испытаниях объёмных гидростатических машин, основанные на использовании диссипативных сил, дополнительных источников расхода рабочей жидкости, сил инерции и пр., что делает процесс проведения испытаний весьма ресурсоёмким. При проведении стендовых испытаний полезная работа не выполняется, следовательно, мощность, потребляемую приводом стенда, следует по возможности снизить. Рядом авторов [1—5] предлагались рекуперативные системы приводов стендов, позволяющие как создавать нагрузку, так и возвращать часть затраченной энергии обратно в систему испытаний, которые к настоящему времени изучены недостаточно.

Основная часть. В качестве объекта исследования рассматривается гидромеханическая рекуперативная система привода испытаний гидравлических машин вращательного движения на примере ГСТ. На рис. 1 приведена принципиальная схема исследуемой системы, работа которой заключается в следующем.

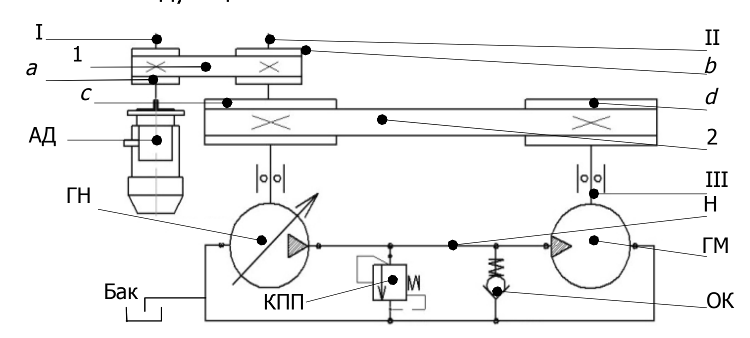




Рис. 1. Схема (слева) и фотография (справа) рекуперативной системы привода испытаний гидравлических машин

Электрическая энергия, взятая из трёхфазной сети, преобразуется асинхронным двигателем (АД) в механическую энергию вращения вала I, затем через механическую передачу *1* передаётся на вал II, где суммируется с механической энергией, создаваемой гидравлическим мотором (ГМ) на валу III, приведённой к валу II через механическую передачу *2*. Гидравлический на-

сос (ГН) преобразует механическую энергию вращения вала II в энергию гидравлического потока, которая через напорную магистраль (Н) передаётся на вход гидравлического мотора, посредствам которого энергия гидравлического потока преобразуется в механическую энергию вращения вала III. Рост давления в напорной магистрали обеспечивается за счёт того, что расход, создаваемый гидравлическим насосом, на некоторую величину должен превосходить расход, который потребляет гидравлический мотор. Это возможно выполнить посредством варьирования таких параметров, как рабочие объёмы гидравлических машин и передаточное отношение механической передачи *2*. Рост давления в напорной магистрали контролируется клапаном предохранительным переливным (КПП). Обратный клапан (ОК) предназначен для создания условия разгрузки гидросистемы в моменты её выхода на заданные режимы.

Теоретические основы моделирования. С целью оценки потребляемой энергии электродвигателем, а также выявления его влияния на качество переходных процессов рекуперативной системы предлагается использовать математическую модель асинхронного электродвигателя в следующей системе выражений [6—8]:

$$\frac{d\Psi_{1x}}{dt} = U_{1x} - r_1 \cdot \omega_0 \left(\frac{\Psi_{1x} \cdot L_2 - \Psi_{2x} \cdot L_0}{\Delta} \right) + \omega_0 \cdot L_0 \cdot \left(\frac{\Psi_{1x} \cdot L_0 - \Psi_{2x} \cdot L_1}{\Delta} \right);$$

$$\frac{d\Psi_{1y}}{dt} = U_{1y} - r_1 \cdot \omega_0 \left(\frac{\Psi_{1y} \cdot L_2 - \Psi_{2y} \cdot L_0}{\Delta} \right) + \omega_0 \cdot L_0 \cdot \left(\frac{\Psi_{1y} \cdot L_0 - \Psi_{2y} \cdot L_1}{\Delta} \right);$$

$$\frac{d\Psi_{2x}}{dt} = \left(\frac{\Psi_{1x} \cdot L_0 - \Psi_{2x} \cdot L_1}{\Delta} \right) \cdot \left(r_2 + \omega_0 \cdot L_2 - \omega_1 \cdot L_2 \right) - \left(\frac{\Psi_{1x} \cdot L_2 - \Psi_{2x} \cdot L_0}{\Delta} \right) \cdot \left(\omega_0 \cdot L_0 - \omega_1 \cdot L_0 \right);$$

$$\frac{d\Psi_{2y}}{dt} = \left(\frac{\Psi_{1y} \cdot L_0 - \Psi_{2y} \cdot L_1}{\Delta} \right) \cdot \left(r_2 + \omega_0 \cdot L_2 - \omega_1 \cdot L_2 \right) - \left(\frac{\Psi_{1y} \cdot L_2 - \Psi_{2y} \cdot L_0}{\Delta} \right) \cdot \left(\omega_0 \cdot L_0 - \omega_1 \cdot L_0 \right);$$

$$M_{эд} = \frac{3 \cdot Z_p}{2} \cdot \frac{L_0}{\Delta \cdot L_2} \cdot \left[\Psi_{2x} \cdot \left(\Psi_{1x} \cdot L_2 - \Psi_{2x} \cdot L_0 \right) + \Psi_{2y} \cdot \left(\Psi_{1y} \cdot L_2 - \Psi_{2y} \cdot L_0 \right) \right];$$

$$U_{1x} = \sqrt{2} \cdot U_m \cdot \cos\left(\omega_0 \cdot t\right); \qquad U_{1y} = \sqrt{2} \cdot U_m \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t\right),$$

где Ψ_{1x}, Ψ_{1y}, Ψ_{2x}, Ψ_{2y} — потокосцепление статора и ротора, разложенное в ортогональной системе *XY*; U_{1x} и U_{1y} — напряжение, приложенное к обмоткам статора, разложенное в ортогональной системе *XY*; r_1 и r_2 — сопротивление обмоток статора и ротора соответственно; ω_0 — синхронная частота вращения поля статора; ω_1 — частота вращения вала электродвигателя; Z_p — число пар полюсов электродвигателя; $\Delta = L_1 \cdot L_2 - L_0^2$ — промежуточная функция, где L_1 и L_2 — индуктивность обмоток статора и взаимная индуктивность между роторной обмоткой (одной фазой) и статорными обмотками (всеми фазами), L_0 — индуктивность рассеяния роторной обмотки; $U_m = 220$ В — напряжение в фазовой цепи; $M_{эд}$ — крутящий момент, передаваемый электродвигателем на вал I механической системы; t — время.

Изменение частоты вращения соответствующих валов определим по уравнениям:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{\sum M_{\mathrm{I}}}{J_{\mathrm{I}}}; \qquad \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{\sum M_{\mathrm{II}}}{J_{\mathrm{II}}}; \qquad \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{\sum M_{\mathrm{III}}}{J_{\mathrm{III}}},$$

где ω_2 — частота вращения вала гидравлического насоса; ω_3 — частота вращения вала гидравлического мотора; $\sum M_{\mathrm{I}}$, $\sum M_{\mathrm{II}}$ и $\sum M_{\mathrm{III}}$ — суммы крутящих моментов, приведённые к соответствующему валу; J_{I}, J_{II} и J_{III} — значения центральных приведённых моментов инерции к соответствующему валу.

Для анализа функционирования гидромеханической системы, а также учёта потерь энергии в гидромеханической рекуперативной системе привода стенда испытаний гидравлических машин предлагается использовать динамическую модель упруго-диссипативного состояния элементов участков гидропривода на основе понятия приведённой объёмной жёсткости в соответствующем мгновенном энергетическом состоянии. Приращение давления dp_i во времени в выделенном объёме рабочей жидкости участка гидросистемы определим по формуле [9]:

$$dp_i = C_{пр_i} \cdot \left(\sum Q_{вх_j} - \sum Q_{исх_j} \right) \cdot dt\ ,$$

где $\sum Q_{вх_j}$ и $\sum Q_{исх_j}$ — соответственно суммы всех мгновенных (*j*-х) расходов рабочей жидкости, входящих и исходящих из рассматриваемого (*i*-го) объёма жидкости за время *dt*; $C_{пр_i}$ — мгновенная приведённая объёмная жёсткость выделенного участка гидравлической системы, которая определяется формулой:

$$C_{пр_i} = \frac{\prod_{i=1}^{n} C_i}{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{C_i} \prod_{i=1}^{n} C_i \right)}\ ,$$

где C_i — жёсткость элементов выделенного участка гидравлической системы, которую в соответствии с выбранной методикой определим из выражения:

$$C_i = \frac{E_i}{V_i}\ ,$$

где V_i — объём элемента выделенного участка, а E_i — его модуль упругости. Так как модуль упругости материала стенки, ограничивающей объём рабочей жидкости, при нормальных условиях значительно выше модуля упругости рабочей жидкости (примерно на два порядка), значение первого можно принять константой. Известно, что модуль упругости объёма рабочей жидкости в значительной мере зависит от давления и процентного содержания нерастворённого в ней газа в её выделенном объёме. Следовательно, мгновенные жёсткости объёма рабочей жидкости *i*-го участка гидравлической системы мы можем рассчитать с учётом изменения её модуля упругости [10]:

$$C_i^ж = \frac{E'_{жi}}{V_i} = \left(E_ж \cdot \frac{\frac{100-k}{k} + 1}{\frac{100-k}{k} + E_ж \cdot \frac{p_{atm}}{p_i^2}} \right) \cdot \frac{1}{V_i}\ ,$$

где *k* — процентное содержание нерастворённого воздуха в выделенном объёме рабочей жидкости; $E_ж$ — модуль упругости жидкости при атмосферном давлении; p_i — значение давления, действующего в выделенном объёме жидкости.

Расходы рабочей жидкости, входящие $Q_{вх_j}$ и исходящие $Q_{исх_j}$ *i*-го участка объёма жидкости, в соответствии с рассматриваемыми родами источников расхода можно рассчитать по следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned} Q_{вх_j} &= \frac{1}{\sqrt{1+\xi_j}} \cdot f_j \cdot \sqrt{\frac{2}{p_i} \cdot \left| p_{i-1} - p_i \right|} \cdot \operatorname{sign}\left(p_{i-1} - p_i \right); \\ Q_{исх_j} &= \frac{1}{\sqrt{1+\xi_j}} \cdot f_j \cdot \sqrt{\frac{2}{p_i} \cdot \left| p_i - p_{i+1} \right|} \cdot \operatorname{sign}\left(p_i - p_{i+1} \right); \end{aligned} \right\} \quad \text{Для гидравлических сопротивлений}$$

$$\left.\begin{aligned} Q_{вх_{j_{мех}}} &= v_{j_{мех}} \cdot f_{j_{мех}}; \\ Q_{исх_{j_{мех}}} &= v_{j_{мех}} \cdot f_{j_{мех}}; \end{aligned}\right\} \text{Для механических источников расхода}$$

где ξ_j — мгновенное значение коэффициента гидравлических потерь для каждого *j*-го гидравлического сопротивления, рассчитываемого по известным методикам [11]; f_j — площадь живого сечения соответствующего гидравлического сопротивления; $v_{j_{мех}}$ — изменение скорости, соответствующей выделенной площади механического элемента, входящей либо исходящей из *i*-го выделенного объёма жидкости за время dt; ρ_i — плотность выделенного объёма рабочей жидкости, текущее значение которой можно рассчитать как [1, 11]:

$$\rho_i = \frac{\rho_0}{\left(1 - \dfrac{p_i - p_{atm}}{E'_{жi}}\right)},$$

где ρ_0 — плотность рабочей жидкости выделенного объёма при нормальных условиях.

В предложенной модели пренебрегаем процессом теплообмена энергоносителей системы с окружающей средой, а также зависимостями изменения вышеприведённых величин от изменения температуры рабочей жидкости (вследствие её дросселирования) с целью упрощения расчётов.

Предложенная модель упруго-диссипативного состояния участков элементов гидромеханической системы позволяет не только рассчитать конструктивные и энергетические параметры рекуперативной гидромеханической системы, которые обеспечат испытание гидростатической трансмиссии при заданных функциональных параметрах, но и произвести рационализацию элементов системы с целью обеспечения их наилучших свойств работы на неустановившихся режимах и во время переходных процессов.

Для оценки эффективности работы рекуперативного привода стенда предлагается расчёт коэффициента затрат, равного отношению затраченной мощности к мощности проведения испытаний:

$$k_{эфф} = \frac{N_{ЭД}}{N_{ИСП}},$$

где $N_{ЭД}$ — мощность, потребляемая электродвигателем, $N_{ИСП}$ — мощность нагрузки испытываемых объектов. Коэффициент затрат должен стремиться к нулю, т. е. $N_{ЭД}$ должна стремиться к нулю при достаточном уровне $N_{ИСП}$.

Результаты моделирования. Расчёт математической модели рекуперативной системы привода проводился со следующими базовыми параметрами:

Испытываемая гидростатическая трансмиссия (на примере ГСТ-90): рабочий объём (см^3/об): насоса (макс. / мин.) — 89 / 0, мотора (макс.) — 89, насоса подпитки — 18,05; КПД (объёмный / гидромеханический / полный): 0,95 / 0,9 / 0,86; центральные моменты инерции (кг·м^2): насоса — 0,037; мотора — 0,035.

Электродвигатель: мощность (кВт) — 18,5; номинальная частота вращения ротора электродвигателя (об/мин) — 2930; ток, потребляемый при напряжении сети 380 В (А) — 35; КПД (%) — 90,0; коэффициент мощности — 0,88; кратность пускового тока ($I_п$ / $I_н$) — 7,5; кратность пускового крутящего момента ($M_п$ / $M_н$) — 2,0; кратность максимального крутящего момента ($M_{\max}$ / $M_н$) — 2,3; центральный момент инерции ротора электродвигателя (кг·м^2) — 0,0550.

Механическая передача: передаточное отношение i_1 механической передачи 1 во всех экспериментах оставалось неизменным — i_1 = 2; центральные моменты инерции соответствующих шкивов (кг·м^2, см. рис. 1): J_a = 0,005; J_b = 0,01; J_c = 0,01; J_d = 0,015.

Клапан предохранительный переливной (КПП, на примере КН50.16-000): номинальное давление — 16 МПа; номинальный расход рабочей жидкости — 50 л/мин; изменение давления настройки при изменении расхода от 10 до 50 л/мин — не более 1 МПа; максимальное давление разгрузки — 0,4 МПа.

Клапан обратный ОК (на примере БК2.505.334-06): номинальное давление — 32 МПа; расход рабочей жидкости — 160 л/мин.

Рукава высокого давления (РВД): условный диаметр (D_y) — 32 мм; номинальное давление — 32 МПа; длины РВД — 450—1450 мм.

Модуль упругости стенки РВД — 3200 МПа.

Модуль упругости металлических стенок — $2 \cdot 10^5$ МПа.

Модуль упругости рабочей жидкости (при н. у.) — 1500 МПа.

Плотность рабочей жидкости (при н. у.) — 900 кг/м^3.

Процентное содержание нерастворённого воздуха в рабочей жидкости — 3 %.

Рассмотрим динамику работы стенда с постоянными (максимальными) рабочими объёмами насоса и мотора. Полагаем, что в рассматриваемом случае наиболее информативными показателями функционирования рекуперативной системы являются показатели мощностей асинхронного электродвигателя, насоса и мотора ГСТ, а также расходы через клапаны КПП и ОК, результаты расчёта которых приведены на рис. 2, 3.

Расчёт параметров рис. 2 проводился при условии работы клапана управления КПП: при $t \le 2$ и $t \ge 5$ клапан открыт; при $2 < t < 5$ клапан закрыт. Давление настройки КПП составляло 16 МПа. Управление клапаном КПП обеспечивает вывод рекуперативной системы на режим после разгона механической системы.

По результатам моделирования был произведён расчёт коэффициента затрат рекуперативной системы на установившемся режиме для соответствующего передаточного отношения (при i_2 = 1,05 коэффициент затрат равен $k_{эфф} = 0,09$; при i_2 = 1,25 — $k_{эфф} = 0,26$; при i_2 = 1,43 — $k_{эфф} = 0,46$), который показал, что с повышением передаточного отношения i_2 эффективность рекуперативной системы испытаний объёмных гидромашин снижается.

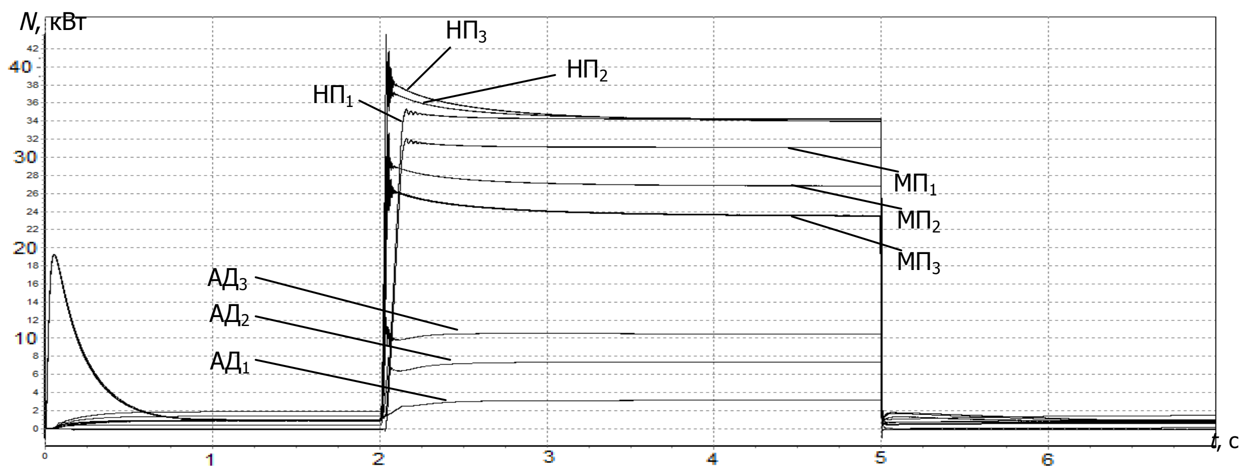


Рис. 2. Расчётные значения мощностей АД, НП и МП при различных передаточных отношениях i_2: индекс 1 соотв. i_2 = 1,05, индекс 2 — i_2 = 1,25, индекс 3 — i_2 = 1,43

Расчёт значений мощностей (рис. 2) показывает, что увеличение передаточного отношения приводит к значительному росту потребляемой мощности электродвигателя, что объясняется увеличением расхода (и, соответственно, мощности потерь) рабочей жидкости через предохранительную систему КПП (рис. 2), что снижает эффективность рекуперативной системы. С другой

стороны, величина превышения подачи НП должна в достаточной степени превышать потребляемый расход МП для того, чтобы компенсировать утечки и перетечки рабочей жидкости в каналах НП, МП и КПП. Результаты расчёта также показывают, что выход на режим сопровождается резким повышением давления, которое ограничивает КПП, что может негативно сказаться на испытываемой ГСТ.

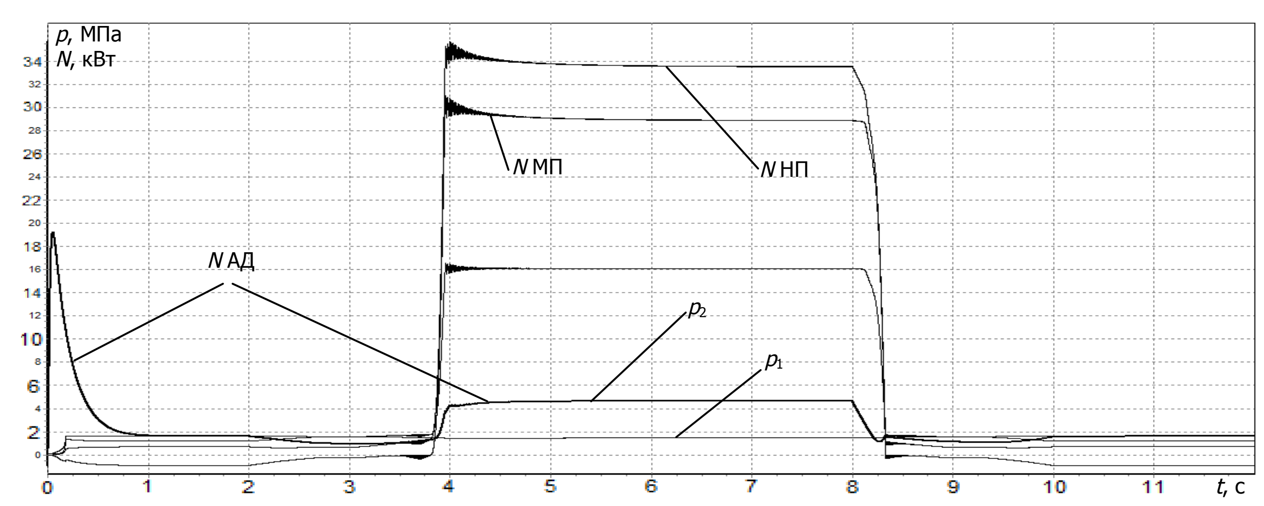


Рис. 3. Расчётные значения давлений напорной (p_1) и сливной (p_2) магистрали, а также мощности НП, МП и АД при отключённом ГПА

Время выхода на режим возможно увеличить следующими путями — плавное увеличение величины подачи рабочей жидкости НП в напорную магистраль системы над величиной потребляемого расхода МП за счёт изменения i_2 (или при $i_2 = const$ — плавное увеличение рабочего объёма НП) или установка пневмогидроаккумулятора напорной магистрали стенда (ГПА).

Расчёт системы с переменным рабочим объёмом НП проводился при закрытом клапане управления КПП и передаточным отношением $i_2 = 1{,}1$ для двух случаев — с отключённым ГПА и подключённым к напорной магистрали стенда ГПА. Давление настройки КПП составляет 16 МПа. Объём пневмогидроаккумулятора — 0,4 дм^3, давление зарядки — 2 МПа. Результаты расчётов приведены на рис. 3, 4 и 5. В обоих случаях рабочий объём НП в течение первых двух секунд оставался равным нулю, затем линейно возрастал от 0 до 90 см^3 в интервале времени от 2 до 4 секунд, далее до восьми секунд оставался равным 90 см^3, после чего в течение двух секунд линейно снижался до нуля и далее был неизменен.

При величине расхода рабочей жидкости НП, равной нулю, испытываемый МП работает в режиме гидронасоса за счёт открытия обратного клапана ОК и подпитки напорной магистрали насосом подпитки (НШ). Плавное увеличение расхода рабочей жидкости, создаваемого гидронасосом НП, и работа обратного клапана ОК приводят к переводу работы МП из режима гидронасоса в режим гидромотора, после чего начинается процесс рекуперации энергии, сопровождающийся резким ростом давления в напорной магистрали вследствие высокой величины значения её приведённой жёсткости. Проведённый анализ показывает, что снижение скорости роста давления в рекуперативном режиме целесообразно проводить путём снижения приведённой жёсткости напорной магистрали, а именно установкой пневмогидроаккумулятора. Результаты расчёта рекуперативной системы стенда, оснащённой пневмогидроаккумулятором (ГПА), приведены на рис. 4 и 5.

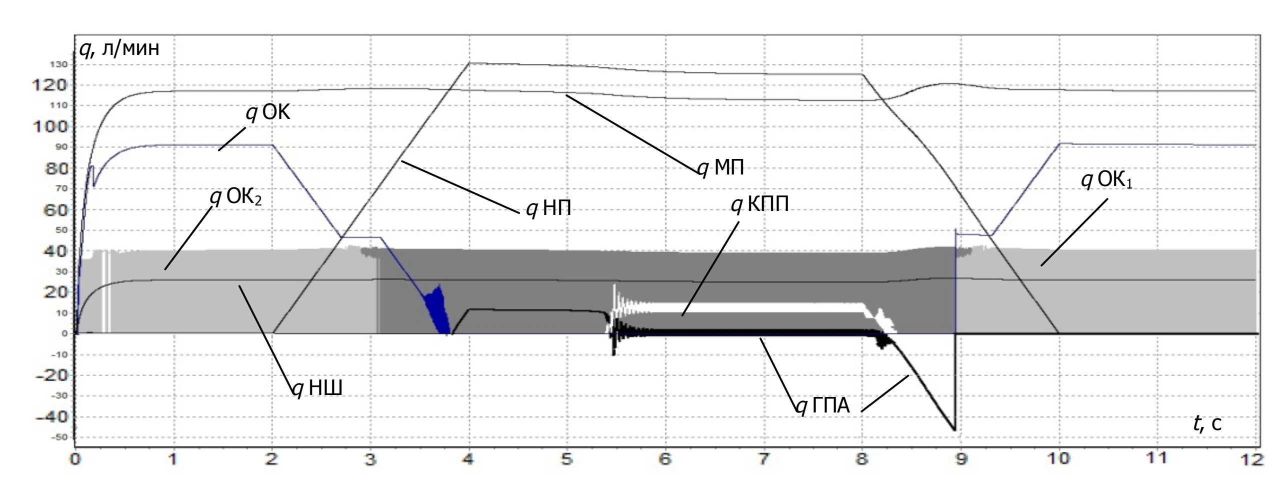


Рис. 4. Расчётные значения расходов рабочей жидкости НП, НШ, МП и через клапаны КПП, ОК, $ОК_1$ и $ОК_2$ (обратные клапаны насоса подпитки напорной и сливной магистрали соответственно) при подключённом ГПА

С увеличением передаточного отношения i_2 скорость заполнения рабочего объёма пневмогидроаккумулятора будет увеличиваться, что объясняется ростом разницы расходов рабочей жидкости соответствующих НП и МП напорной магистрали. Таким образом, рабочий объём пневмогидроаккумулятора можно выбрать путём его расчёта по времени выхода системы на заданный уровень давления напорной магистрали и разнице расходов рабочей жидкости, создаваемой НП и МП в условиях рекуперативного режима работы гидромеханической системы.

При выводе системы из рекуперативного режима её работы пневмогидроаккумулятор некоторое время поддерживает давление рабочей жидкости в напорной магистрали, что приводит к кратковременному превышению значения мощности, возвращаемой в систему испытаний благодаря работе МП, над величиной мощности, потребляемой гидронасосами НП и НШ. Пневмогидроаккумулятор в совокупности с напорной магистралью системы в приведённых условиях является источником энергии, что приводит к кратковременному превышению угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя над угловой скоростью вращения магнитного поля статора и переводу его работы в рекуперативный режим.

Таким образом, анализ результатов проведённых расчётов показывает, что наибольшее влияние на эффективность рекуперативной системы привода стенда испытаний гидростатической трансмиссии оказывает величина передаточного отношения механической передачи *2*, а также упруго-диссипативные свойства гидромеханической системы.

На рис. 6—8 приведены основные результаты экспериментальных исследований, в которых показателями функциональности предлагаемой системы были выбраны давления рабочей жидкости на входе и выходе НП и МП, а также частоты вращения валов I, II и III, что позволило произвести оценку эффективности системы путём расчёта коэффициента затрат в рекуперативном режиме. На рис. 6 приведены результаты исследований для рекуперативной системы, в которой передаточное отношение i_2 = 1,05, ГПА отключён. На рис. 7 — передаточное отношение i_2 = 1,15, ГПА отключён. На рис. 8 — передаточное отношение i_2 = 1,1, ГПА подключён (рабочий объём — 1 дм^3, давление зарядки газовой камеры — 1,8 МПа). Во всех экспериментах: клапан управления КПП отключён, давление настройки КПП — 15,5 МПа; запуск системы осуществлялся при нейтральном положении золотника сервораспределителя, управляющего рабочим объёмом НП. После разгона механической системы (t ≈ 4—6 с) рабочий объём НП изменялся до максимального значения и по прошествии некоторого времени (≈ 5—10 с) уменьшался до минимального значения. Время изменения рабочего объёма НП фиксировалось.

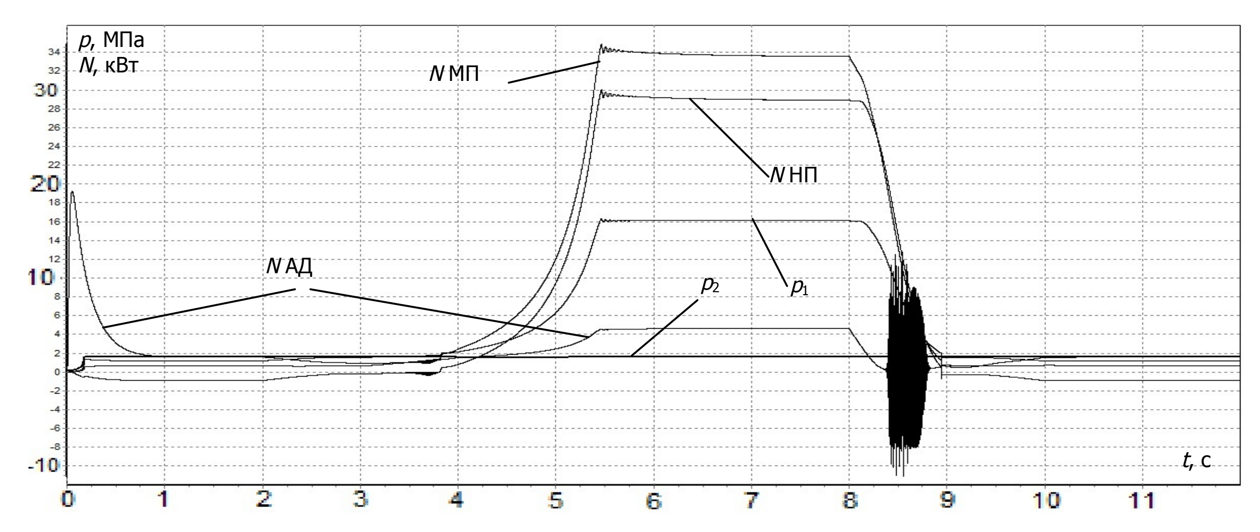


Рис. 5. Расчётные значения давлений напорной (p_1) и сливной (p_2) магистрали, а также мощности НП, МП и АД при подключённом ГПА

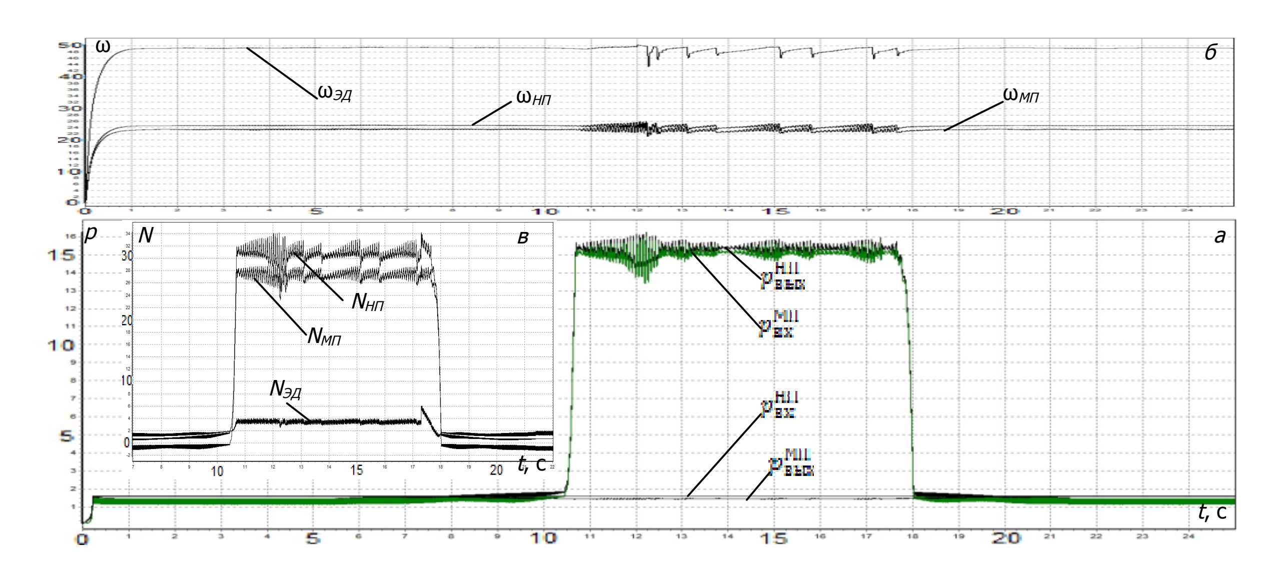


Рис. 6. Графики экспериментальных величин (i_2 = 1,05; ГПА отключён):
а — давления (МПа) на входе и выходе НП ($p_{вх}^{НП}$ и $p_{вых}^{НП}$) и МП ($p_{вх}^{МП}$ и $p_{вых}^{МП}$); б — частоты вращения (об/с) валов $\omega_{ЭД}$, $\omega_{НМ}$ и $\omega_{МП}$; в — расчётные значения соответствующих активных мощностей (кВт) $N_{ЭД}$, $N_{НП}$ и $N_{МП}$, пересчитанные по экспериментальным данным (рис. *а* и *б*). Расчётное значение коэффициента затрат составляет $k_{эфф} = 0{,}135$

Сравнительный анализ предлагаемых характеристик указывает на удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных исследований рекуперативной системы привода испытаний гидростатической трансмиссии (на примере ГСТ-90), что свидетельствует о том, что разработанная авторами математическая модель рекуперативной системы привода испытаний гидростатической трансмиссии удовлетворительно описывает её функционирование как на установившихся, так и на переходных режимах.

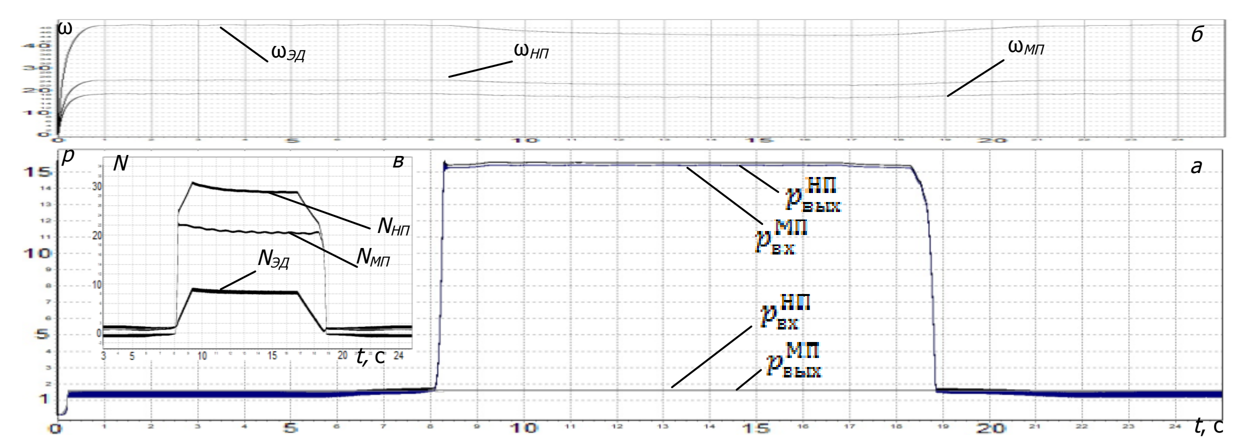


Рис. 7. Графики экспериментальных величин (i_2 = 1,15; ГПА отключён):
а — давления (МПа) на входе и выходе НП ($p_{вх}^{НП}$ и $p_{вых}^{НП}$) и МП ($p_{вх}^{МП}$ и $p_{вых}^{МП}$); б — частоты вращения (об/с) валов $\omega_{ЭД}$, $\omega_{НМ}$ и $\omega_{МП}$; в — расчётные значения соответствующих активных мощностей (кВт) $N_{ЭД}$, $N_{НП}$ и $N_{МП}$, пересчитанные по экспериментальным данным (рис. *а* и *б*). Расчётное значение коэффициента затрат составляет $k_{эфф} = 0,65$

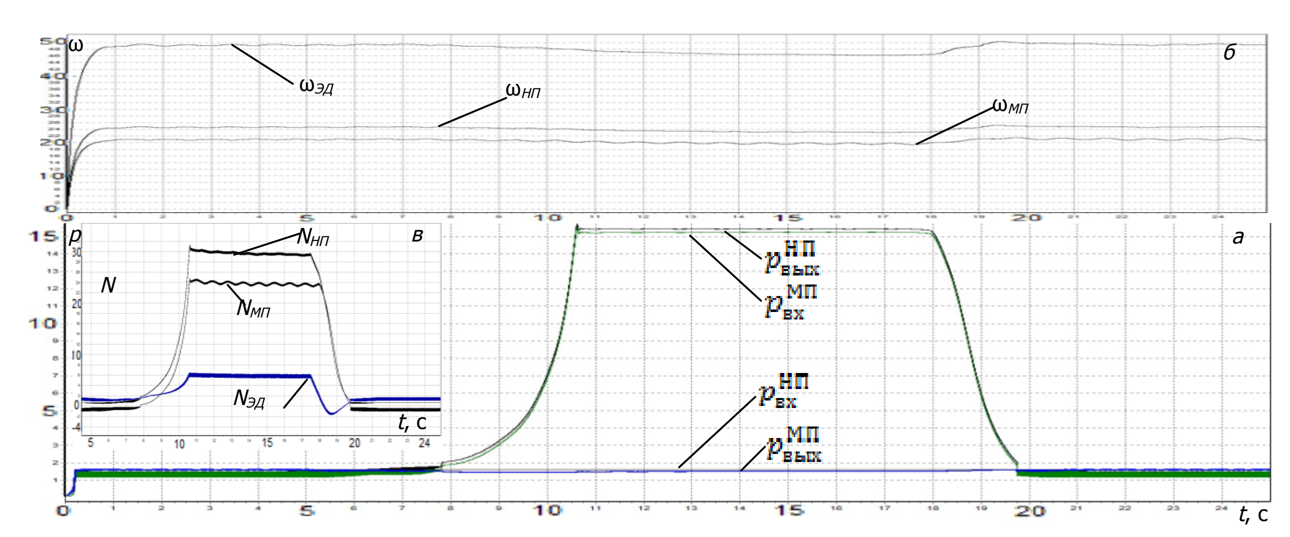


Рис. 8. Графики экспериментальных величин (i_2 = 1,1; ГПА подключён):
а — давления (МПа) на входе и выходе НП ($p_{вх}^{НП}$ и $p_{вых}^{НП}$) и МП ($p_{вх}^{МП}$ и $p_{вых}^{МП}$); б — частоты вращения (об/с) валов $\omega_{ЭД}$, $\omega_{НМ}$ и $\omega_{МП}$; в — расчётные значения соответствующих активных мощностей (кВт) $N_{ЭД}$, $N_{НП}$ и $N_{МП}$, пересчитанные по экспериментальным данным (рис. *а* и *б*). Расчётное значение коэффициента затрат составляет $k_{эфф} = 0,215$

Выводы. Предлагаемая рекуперативная система привода стенда позволяет обеспечить создание заданных нагрузок испытываемых гидромашин в режиме работы, максимально приближённом к реальности, а также позволяет уменьшить затраты на проведение их испытаний.

Использование математической модели асинхронного электродвигателя позволило не только получить его динамические характеристики и оценить их влияние на работу предлагаемой рекуперативной системы, но и оценить эффективность работы рекуперативной системы в целом.

Использование теории моделирования гидромеханических систем, основанной на понятии приведённой жёсткости, в совокупности с учётом нелинейных упруго-диссипативных свойств энергоносителя системы (рабочей жидкости) позволило оценить количественное и качественное влияние различных конструктивных и функциональных параметров элементов гидромеханической системы на основные функциональные показатели её работы (в том числе и эффективность).

Установлено, что на основные функциональные и конструктивные параметры рекуперативной системы привода первостепенное влияние оказывают упруго-диссипативные свойства элементов источников и потребителей расхода гидравлической системы. С уменьшением приведённой жёсткости напорной магистрали уменьшается скорость роста давления при выходе системы на заданный уровень давления в рекуперативном режиме. Рост гидравлического сопротивления каналов гидромеханической рекуперативной системы повышает потери энергии, что снижает эффективность работы системы. Стабильность рекуперативного режима и его эффективность в совокупности ограничиваются устойчивостью работы предохранительной системы при минимальных значениях расходов через неё рабочей жидкости, величинами утечек рабочей жидкости из напорной магистрали в дренажную либо сливную систему, а также точностью передаточного отношения механической передачи, связывающей валы испытываемых объёмных гидравлических машин.

Библиографический список

1. Башта, Т. М. Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: учебник для вузов / Т. М. Башта. — Москва: Машиностроение, 1974. — 606 с.

2. Никитин, О. Ф. Надёжность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. Курс лекций с решением примеров: уч. пособие для вузов по направлению 150800 «Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника», специальности 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / О. Ф. Никитин. — Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 312 с. — ISBN 978-5-7038-2965-3.

3. Пономаренко, Ю. Ф. Испытание гидропередач / Ю. Ф. Пономаренко. — Москва: Машиностроение, 1969. — 292 с.

4. О возможности регенерации мощности при испытании объёмных гидравлических машин с различными рабочими объёмами / А. Т. Рыбак [и др.] // Гидросистемы технологических и мобильных машин: межвуз. сб. науч. тр. — Ростов-на-Дону, 1998. — С. 60—64.

5. Рыбак, А. Т. Стенд для испытания объёмных гидромашин с рекуперацией энергии / А. Т. Рыбак, А. В. Сердюков // Вестник ДГТУ. — 2009. — Т. 9. — № 2 (41). — С. 249—254.

6. Мирошниченко, В. Г. Исследование динамических характеристик узлов металлорежущих станков на стадии проектирования: уч. пособие / В. Г. Мирошниченко. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2006. — 241 с.

7. Расчёт динамических характеристик металлорежущих станков: уч. пособие / В. А. Ванин [и др.]. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. — 104 с.

8. Устьянцев, М. В. Динамика трёхмассовой электромеханической системы привода стенда испытаний объёмной гидропередачи / М. В. Устьянцев, А. Т. Рыбак // Транспорт 2011: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. — Т. I. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2011. — С. 353—355.

9. Рыбак, А. Т. Гидромеханические системы. Моделирование и расчёт: монография / А. Т. Рыбак. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2008. — 145 с.

10. Устьянцев, М. В. Влияние нерастворённого воздуха рабочей жидкости на коэффициент объёмной жёсткости гидросистемы / М. В. Устьянцев, А. Т. Рыбак, А. Г. Ефименко // Транспорт 2011: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. — Т. I. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2011. — С. 356—357.

11. Юрьев, А. С. Справочник по расчёту гидравлических и вентиляционных систем / А. С. Юрьев. — Москва: Мир и Семья, 2006. — 1153 с.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

References

1. Bashta, T. M. Ob``yomny`e nasosy` i gidravlicheskie dvigateli gidrosistem: uchebnik dlya vuzov / T. M. Bashta. — Moskva: Mashinostroenie, 1974. — 606 s. — In Russian.

2. Nikitin, O. F. Nadyozhnost`, diagnostika i e`kspluataciya gidroprivoda mobil`ny`x ob``ektov. Kurs lekcij s resheniem primerov: uch. posobie dlya vuzov po napravleniyu 150800 «Gidravlicheskaya, vakuumnaya i kompressornaya texnika», special`nosti 150802 «Gidravlicheskie mashiny`, gidroprivody` i gidropnevmoavtomatika» / O. F. Nikitin. — Moskva: Izd-vo MGTU im. N. E`. Baumana, 2007. — 312 s. — ISBN 978-5-7038-2965-3. — In Russian.

3. Ponomorenko, Yu. F. Ispy`tanie gidroperedach / Yu. F. Ponomorenko. — Moskva: Mashinostroenie, 1969. — 292 s. — In Russian.

4. O vozmozhnosti regeneracii moshhnosti pri ispy`tanii ob``yomny`x gidravlicheskix mashin s razlichny`mi rabochimi ob``yomami / A. T. Ry`bak [i dr.] // Gidrosistemy` texnologicheskix i mobil`ny`x mashin: mezhvuz. sb. nauch. tr. — Rostov-na-Donu, 1998. — S. 60—64. — In Russian.

5. Ry`bak, A. T. Stend dlya ispy`taniya ob``yomny`x gidromashin s rekuperaciej e`nergii / A. T. Ry`bak, A. V. Serdyukov // Vestnik DGTU. — 2009. — T. 9. — # 2 (41). — S. 249—254. — In Russian.

6. Miroshnichenko, V. G. Issledovanie dinamicheskix xarakteristik uzlov metallorezhushhix stankov na stadii proektirovaniya: uch. posobie / V. G. Miroshnichenko. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2006. — 241 s. — In Russian.

7. Raschyot dinamicheskix xarakteristik metallorezhushhix stankov: uch. posobie / V. A. Vanin [i dr.]. — Tambov: Izd-vo Tamb. gos. texn. un-ta, 2007. — 104 s. — In Russian.

8. Ust`yancev, M. V. Dinamika tryoxmassovoj e`lektromexanicheskoj sistemy` privoda stenda ispy`tanij ob``yomnoj gidroperedachi / M. V. Ust`yancev, A. T. Ry`bak // Transport 2011: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. — T. I. — Rostov-na-Donu: RGUPS, 2011. — S. 353—355. — In Russian.

9. Ry`bak, A. T. Gidromexanicheskie sistemy`. Modelirovanie i raschyot: monografiya / A. T. Ry`bak. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2008. — 145 s. — In Russian.

10. Ust`yancev, M. V. Vliyanie nerastvoryonnogo vozduxa rabochej zhidkosti na koe`fficient ob``yomnoj zhyostkosti gidrosistemy` / M. V. Ust`yancev, A. T. Ry`bak, A. G. Efimenko // Transport 2011: sb. tr. Mezhdnar. nauch.-prakt. konf. — T. I. — Rostov-na-Donu: RGUPS, 2011. — S. 356—357. — In Russian.

11. Yur`ev, A. S. Spravochnik po raschyotu gidravlicheskix i ventilyacionny`x sistem / A. S. Yur`ev. — Moskva: Mir i Sem`ya, 2006. — 1153 s. — In Russian.

STUDY ON REGENERATIVE HYDROMECHANICAL TESTING SYSTEM OF POSITIVE-DISPLACEMENT HYDRAULIC MACHINES

A. T. Rybak, V. P. Zharov, M. V. Ustyantsev
(Don State Technical University),
A. G. Yefimenko
(Rostov State Transport University)

The basic theoretical and experimental results on the testing hydromechanical regenerative drive system of the positive-displacement hydraulic machines are presented. Its mathematical simulation principles are shown. The characteristic features of the system output to the plugging mode, as well as the factors influencing its stability, are considered.
Keywords: *positive-displacement hydraulic machines, hydrostatic transmission, testing hydromechanical regenerative drive system.*

HUMANITIES

UDC 81'1:008:911.3

FIELD APPROACH IN THE PARTS OF SPEECH INTERACTION

E. V. Murugova
(Don State Technical University)

The problems of parts of speech interaction with the application of field theory revealing the systematic ties within the vocabulary system, the existence of synchronic and diachronic, implicit and explicit, syntagmatic and paradigmatic, direct and indirect, motivated and idiomatic relationships between language items, dependence of word-building meaning of any derived word on a structural, semantic character of its word-building bases giving a wide-ranging analysis of parts of speech interaction in the linguacreative activity of people are considered.
Keywords: *vocabulary system, interdependence of parts of speech, derived words, field approach, word-building base, word-building fields.*

Introduction. Language constitutes a system of interconnected elements which penetrate, connect, and organize its lexicon. We pay great attention to interconnection in social, cross-cultural, informative processes of our life. As V. N. Migirin marks, "categories of dialectics are present at language implicitly, as well as concepts, common for language and other sciences: the speakers use them, not thinking of how they can be named or refer to" [1, 16]. We treat interaction as a certain law of philosophy, characterized by necessity, universality, repeatability and invariance. The problem of interaction in linguistics is connected with the whole complex of general-theoretical questions concerning not only definition of interaction, revealing various types of connections and relations between elements of language, but also the basic criteria of parts of speech interaction in creative activity of people. Questions of interaction covered not only by foreign scientists (Z. Vandries, O. Espersen, G. Paul, F. Sosseure), but also by Russian scientists, such, as: V. V. Vinogradov, A. M. Peshkovsky, A. I. Smirnitsky, J. G. Birenbaum, V. M. Zhirmunsky, I. I. Meshchaninov, M. I. Steblin-Kamensky, L. V. Sherba, V. N. Jartseva.

The main interaction indicators are:

- manifestation of identity and distinction relations between language units, sets of universal integrated and differential signs;
- existence of synchronic and diachronic, direct and indirect, implicit and explicit, syntagmatic and paradigmatic connections of derivative words;
- onomasiological and semasiological correlation applied to the language study, presence of systematical ties between field's elements;
- hierarchiral relations of the language elements, joint participation of derived words and its derivatives in the transference of word-building meaning;
- absence of precise borders between parts of speech and their ways of word-formation, crossing of words classes, variability.

Main part. The system of parts of speech created by linguists' efforts is determined by the objective reality and person's activity. Representatives of each nation use those language means which are fixed in the corresponding language system and constitute the language aspect of national mentality. The semantic structure of an initial word predetermines its semantic development and, accordingly, a set and character of derivative meanings. I. Zlatev fairly brings to focus the fact, that meaning is in close connection with the physical, social, cultural environment ("Meaning = Life + Culture") and only active, developing systems ("only living systems") are capable to develop constantly new meanings [2, 284,

289]. At the description of process of reflection it is important to use knowledge of psychologists of creation a subjective image of the objective world, the admittance of the fact that the same real object in the world and the same objective situation are described differently.

In dialectic process of continuous changes, new concepts are formed on the already existed basis. A person approximately, but correctly reflects objects of objective reality, each time selectively reflecting their differential signs. Meaning formation entails both a choice, and integration of the linguistic and extralinguistic information. This major position of materialistic linguistics is very important for a new meaning building, arising each time at the reflection of a new sign concept. The concept, as well as meaning constantly vary and develop and the semantic potential of any word cannot be exhausted.

Occurrence of parts of speech in the same system generates interosculation of classes, leads to interconditionality of differentiation and integration. About interaction of language units linguists speak enough frequently, meaning the following:

- simple concurrence of the classes features;
- constituents' interchangeability;
- connection of words with each other within the framework of different types of lexical and grammatical unities;
- transition of words from one parts of speech into another;
- conversion.

At the present stage not all parts of speech are precisely allocated in the language though the tendency of their differentiation, specifying their independence, is traced. The principles of parts of speech classification and words allocation are explained by different linguists. For better understanding of the interaction law, revealing the integrated and differential models potential, defining the factors influencing the interrelation abilities, existing between word-building bases and derivatives, it is necessary to involve specific categorical terms of the dialectic law of interaction, including parameters of interaction:

- range of interaction
- degree of interaction
- form of interaction display

The concept *of interaction range* reflects number of connections and types of part-of-speech, and also semantic relations between the language units, involved in the process of word-formation and found the reflection in various word-formation models, in word-formation meanings of derivative words, and also in the structure of word-formation fields, with allocation of the central and peripheral mechanisms of interaction. In view of interaction between a word-building base and a derivative word, it is possible to present a structural-semantic model of a derivative word.

The parameter *of interaction depth* is connected with the amount of new words, formed by means of this or that productive word-building model.

The interrelation of any elements has indefinitely diverse displays, and it naturally assumes the existence of different *forms of* interaction (essential and insignificant, necessary and casual, direct and indirect, constant and temporary, functional and reverse connections).

Direct interaction generates the direct contacts with objects of objective reality. At a direct nomination elements of a displayed situation are formed directly or explicitly. Indirect nominations are found at all levels of language system: in lexicon (use of words in metaphorical or metonymical meaning, desemantisation, fraseologisation), in morphology (use of parts of speech not in their primarily meaning), in syntax (change of actantial structure of the sentence, the use of the coordination instead of subordination and on the contrary).

Systematic ties of parts of speech can be revealed through its field structure which is the immanent property of the language system as a whole, and can be referred to language universals. The con-

cept of field in linguistics turned out to be perspective as categorization of the objective reality in language occurs not with the help of separate words, but with the help of internally organized systematic lexical groups. The given lexical groups can be treated as fields which can be grouped in parts of speech, on a thematic or functional-semantic signs. The field's theory helps to order units of all language levels, reflecting, on the one hand, incongruenty of form and content, and on the other hand, investigating all disputable, inconsistent groups of words and separate words which have dropped out of existing classifications.

The analysis of dictionary definitions shows that interaction of parts of speech is most typical for individual semes, laying on periphery of part-of-speech field, which are shown at a lexico-semantic level with a different degree of intensity (f. ex. the semes "temporality", "aspectuality", "relativity" etc. expressed by parts of speech).

In this connection, one of the central ideas of this paper is to work out the typology of semantic motivation between a derivative word and its word-formation base. Thus, in view of interaction of word-building base (further WB) and a derivative word (further DW), reflecting its morphological structure, naming the main lexico-grammatical groups, included in its structure, it is possible to present a structural-semantic model of a derivative word, as:

$$WB \leftrightarrow WE \rightarrow DW\ (WM)$$

WB — a word-building basis
WE — word-building element
DW — a derivative word
WM — a word-building meaning

So, for example, DW, naming noun of the person (Ag) "driver", formed by means of affixation with the basic type of WM "agent" (Ag) can be submitted as:

Drive ↔ er → driver (Ag)

The given circuit illustrates mutual relations between WB of the verb and the word-building element, represented by the suffix -er, which finds the reflection in the basic type of WM "agent".

DW such as European (Ag), formed by means of conversion from an adjectival stem where the word-building means considered to be a change of paradigm (Pdgm) and its environmental characteristics — (ECh) with a WM "location" (Loc) can be submitted as:

European ↔ Pdgm and ECh → European (Loc)

In the derivative words formed by the linear ways of word-formation (affixation, etc.), connection between a derivative and a motivating word is formally expressed, at nonlinear ways of word-formation (conversion, back-formation, etc.) the given connection is indirect, a direction of derivation is established with the help of the special analysis including a number of criteria of internal derivation of a word. Thus, the law of interaction finds the reflection in fulfilling by derivative words such properties, as: motivation, divisibility, coherence with their word-building base, double reference.

The word-stock actively replenishes due to word-formation occuring as a result of direct interaction of two parts in the act of word-building where formal connection of a derivative with a motivating one can be direct or indirect, and semantic connection — direct and indirect or metaphorical. Derivative words are secondary signs. That is a necessary condition of interaction.

From the point of view of the interaction law, derivation can be considered as a result of word-formation interaction which provides an extralinguistic and intralinguistic interrelations between language units. Derivative words enable us to determine a source of derivation, to establish primacy of semantics and form. Meanings between a derivative and a derived one are connected through a prototypical situation, correlated to the same source; therefore they can have common components. The semantic structures of a derivative word and its word-building base, as a rule, do not coincide on the volume

of meanings transmitted by them. Character of the semantic ties is caused by specificity of concept, which word names.

We believe that word-building meaning is a component of the lexical meaning of a derivative word, which is determined by the type of semantic link between a derivative word and its word-building base. Affix expresses the word-building meaning only partially. When the derivative words formed by the linear ways of word-formation (affixation, etc.), connection between a derivative and a motivated word is formally expressed, at nonlinear ways of word-formation (conversion, back-formation, etc.) the given connection is indirect, a direction of derivation is established with the help of special analysis including a set of internal derivation criteria.

Thus, the law of interaction finds reflection in such properties of derivative words as: motivation, divisibility, coherence with their word-building base, double reference. Such signs as:

- presence of common word-formation meanings;
- crossing of semantic features of derivative words and their word-building bases;
- the general features underlying all ways of word-formation;
- the properties determining all system as a whole and specificity of each individual way of word-formation;
- the interaction within the subsystem's limits of a separate part of speech;
- introduce the presence of the word-formation field organization.

The term, "word-building field" yet is not settled enough, it is not mentioned among the types of fields brought in fundamental linguistic sources and there is a discrepancy of views concerning its definition. Definition of the word-building field is mainly applied to concrete researches.

The word-building field is a field which is limited to word-formation of words of one part of speech, the word-building bases of which considered to be stems (less often — word forms) of this part of speech. Each field should act as a complex word-building field which include a number of word-building fields of this or that part of speech, the word-building bases of which are different part-of-speech stems and word forms, phraseological units, various types of word-combinations. Each of the ways of word-formation is expedient for examining as a microfield. The nucleus and periphery are allocated in the structure of word-formation field. The microfields including the greatest number of words of a certain part of speech constitute a nucleus. On the periphery there are the microfields located on different distances from a nucleus. In the structure of each microfield there are both productive and unproductive models of this or that part of speech.

By word-formation fields interaction is necessary to understand the processes of their influence each other, their joint participation in transference of this or that meaning. During modeling the word-building field the systematic principle interacts with the principle of the variability, consisting in a choice of this or that way of word-formation from semantics of word-building base. The role of the same way of word-formation in this or that field or a microfield is various. The interrelation of word-formation microfields can go on lines "nucleus—nucleus", "nucleus—periphery", "periphery—periphery". The same word-formation models enter into different fields as nuclear or peripheral models.

Conclusion. Thus, interaction — one of the types of relations connecting various parts of speech and their ways of word-building where the certain dependence between the structural-semantic characteristic of the word-building base and the derivative word of this or that part of speech is observed. Consideration of parts of speech interaction with the application of a field method will help to penetrate more deeply into variety of connections and mutual relations between parts of speech and their word-building processes, to understand interaction of linear and nonlinear ways of the word-formation, and also to reveal the dependence of word-building process on the character of word-building base. Existence of derivative words creates conditions for more simple access to structures of consciousness that provides fulfillment of one of the major functions of language — communicative. The hierarchical organization of

word-formation fields on nuclear and peripheral zones predetermines the systematical approach to the description of word-formation interaction of language units of different parts of speech.

References

1. Migirin, V. N. Grammatika, logika, filosofiya v ix svyazyax i vzaimodejstviyax / V. N. Migirin. — Kishinyov: Inessa, 2002. — 256 s. — In Russian.

2. Zlatev, J. (2003) Meaning = Life (+ Culture). An outline of a unified biocultural theory of meaning. *Evolution of Communication*, 4/2: 253—296.

Материал поступил в редакцию 12.12.2011.

Библиографический список

1. Мигирин, В. Н. Грамматика, логика, философия в их связях и взаимодействиях / В. Н. Мигирин. — Кишинёв: Инесса, 2002. — 256 с.

2. Zlatev, J. (2003) Meaning = Life (+ Culture). An outline of a unified biocultural theory of meaning. *Evolution of Communication*, 4/2: 253—296.

Полевой подход во взаимодействии частей речи

Е. В. Муругова

(Донской государственный технический университет)

Рассматриваются перспективы применения полевого подхода к решению проблем частеречного взаимодействия, который позволяет выявить системные связи между элементами языковой системы, синхронные и диахронные, непосредственные и опосредованные, внешние и внутренние, парадигматические и синтагматические, прямые и обратные, эксплицитные и имплицитные отношения между языковыми единицами, зависимости словообразовательного значения производных слов от структурно-семантической характеристики производящей базы в лингвокреативной деятельности человека.

Ключевые слова: *языковая система, взаимодействие частей речи, производные слова, полевой подход, производящая база, словообразовательные поля.*

УДК 101.1:316.622

Социальные типы личности в транзитивном обществе

С. Н. Ярёменко, Т. А. Бондаренко, Е. Г. Курова
(Донской государственный технический университет)

Анализируются социокультурные и социально-психологические особенности личности транзитивного общества. Рассматривается влияние таких детерминант, как апатия и смыслоутрата, на поведение человека. Представлены характеристики «человека массового», «человека отдыхающего», «человека парадоксального».
Ключевые слова: *смысл жизни, апатия, конформизм, социальный тип личности.*

Введение. Для характеристики современного общества кроме известных дефиниций – информационное, постиндустриальное, рыночное — используются и другие актуальные определения, как, например, транзитивное, модернизирующееся, инновационное, рискогенное, знаниевое.

Складывается противоречивая ситуация: с одной стороны, расширились возможности для достижения профессиональных и личностных высот, а с другой — постоянные изменения вызывают у значительной части населения отторжение императивов, требующих от человека одновременно творческих способностей и ответственных действий. Переход к глобализационной цивилизации заставляет человека жить и работать в условиях повседневного риска, принимать самостоятельные решения, быть готовым к перемене места жительства, своей профессии, изменению ценностных ориентиров.

Трансформации, ставшие перманентными, осложняют жизнедеятельность индивида, живущего в переходном обществе, затрудняют его самореализацию и самоидентификацию, несмотря на имеющийся веер возможностей выбора и почти безграничные условия для мобильности в сравнении с предшествующим периодом развития. От человека требуются весьма незаурядные способности, относящиеся не только к его интеллектуальной сфере, но и волевой, эмоциональной, мотивационной и т. д., чтобы он мог осуществить свои жизненные цели и быть полноправным гражданином.

Часть населения, в том числе российского, удовлетворяется наличными условиями бытия ради сохранения своего положения. Она не обращает внимания на происходящие события в своей стране и в мире, не проявляет интереса к будущему, пассивна по отношению к избирательным кампаниям.

Таким образом, актуальность темы имеет не только теоретический смысл, обращающий внимание на кризис идентичности личности, имеющей тенденцию вырасти до масштабной социальной проблемы, но и практический. Анализ социальных типов личности в транзитивном обществе имеет выход в прикладную социальную науку, поскольку расширяет возможности разработки управленческих методов, направленных на повышение функциональности современных социальных институтов, локализацию девиации.

Классификация различных типов личности. Данная классификация является научной проблемой, которая находится в стадии разработки современной гуманитарной мыслью. Известные типологизации личности, представленные А. Адлером, Т. Одорно, Э. Фроммом, Д. Рисманом, раскрывают личность в контексте социального характера, формирующегося в результате взаимодействия социально-экономических, политических и культурных факторов. Эти факторы приводят к формированию социальных черт личности, позволяющих раскрыть в ней наиболее существенное. Задача данной статьи — выявление социокультурных детерминант формирования социальных типов личности в переходный период и анализ конкретных форм проявления её деструктивности.

Методологическим посылом служит понимание того, что социально-типические черты личности, являясь проекцией социального, преодолевают границы индивидуальности. Но в то же время доминирование социального над индивидуальным не может нивелировать индивидуальность, заглушить её голос в ансамбле устойчивых социальных качеств.

Отсутствие социального смысла, разрушение ценностной парадигмы является той доминирующей причиной, которая влечёт за собой тип пассивного реагирования человека на происходящее. Апатия становится способом адаптации в транзитивном обществе, временной передышкой на пути перманентных трансформаций. Ощущение своей незначительности и незащищённости рождает комплекс «маленького человека» в условиях всё большей атомизации общества и накапливает у населения отрицательную энергию, способную привести к ломке сложившихся структур общества. Поэтому так необходим вдумчивый анализ социально-психологических и социокультурных качеств личности, живущей в современном обществе, в котором преобладает неопределённость, ощущение неясной опасности, страх перед будущим, нагнетаемый современными СМИ, отсутствие веры в возможность что-то изменить в лучшую сторону.

Оборотной стороной смыслоутраты является апатичное и конформистское поведение человека. Конформизм означает некритичное приятие индивидом существующих норм, правил, ценностей. Пассивное, апатичное согласие с преобладающими в обществе установками и стереотипами обусловлено давлением на личность ближайшего и дальнего окружения, доминирующей субкультуры, к которой человек принадлежит. Ещё А. де Токвиль высказал мысль о наличии в обществе так называемого «демократического деспотизма», заставляющего личность жертвовать каждый день частицей своей свободы для государства, подчиняться требованиям любого государственного служащего. В самом деле, в современном обществе индивиду очень трудно противиться установленным предписаниям, так как они настолько инкорпорированы в его сознание, что индивидуальность человека, его идентичность растворяется во множестве общественных характеристик, таких как этнос, нация, статус, социальная группа, место жительства, гендер и т. п. В формировании конформистского поведения главная роль сегодня принадлежит СМИ, которые, используя различные манипулятивные технологии, способны сформировать тип сознания по требованию заказчика.

Конформистский тип личности включает в себя такие черты, как стандартность мышления, желание быть «как все», страх изоляции от группы членства, покорность властям, бездумное подчинение авторитетам. Естественно, что формирование конформистского поведения зависит от таких особенностей личности, как уровень образованности, степень развитости волевых качеств, направленности, а также широты и глубины мышления, креативности. Конформизм является фундаментальной социально-психологической основой для манипуляции сознанием людей. Групповое давление оказывает мощное влияние на обезличение обывателя, подчиняет индивида потребительским стимулам.

Конформистски настроенный человек следует распространённому в современном обществе стереотипу о том, что духовные цели и смыслы — это лишь самообман, а на самом деле люди работают лишь потому, что им нужны деньги, чтобы стать богаче. «…На самом деле между финансовым благополучием и счастьем очень низкая корреляция. Я знаю весьма обеспеченных и в то же время подавленных и беспокойных людей, отнюдь не чувствующих себя в безопасности. Но у меня же есть и друзья, являющиеся по западным меркам бедными людьми, с трудом сводящими концы с концами и живущими на случайные заработки, однако именно <они> — самые счастливые, доброжелательные и любящие люди, которых я знаю» [1, с. 113—114]. Таким людям это удалось, потому что они смогли вырваться из ловушек потребительского общества, внушающих человеку, что его благополучие напрямую зависит от количества покупок, следовательно, от количества денег.

Одним из самых мощных инструментов формирования конформистких настроений масс являются финансовые институты общества. Абстракция денег и финансовых инструментов сформировала у массового человека уверенность в ценности денег самих по себе, вне зависимости от способа их заработка.

Р. К. Мертон пишет, что «…деньги считаются самоценными независимо от того, используются ли они для потребления или же для увеличения могущества. Особенно хорошо деньги приспособлены для того, чтобы стать символом престижа. Как подчёркивал Зиммель, они в высшей степени абстрактны и безличны. Независимо от того, добыты ли они законным или же незаконным путём, деньги могут быть использованы для приобретения одних и тех же товаров и услуг. Анонимность городского общества в сочетании с этими особенностями денег позволяют богатству, источники которого могут быть известны или не известны сообществу, в котором живёт плутократ, со временем очищаться и служить символом высокого положения… В этой череде меняющихся стандартов нет ничего стабильного и неподвижного» [2, с. 121].

Несмотря на то, что массовое общество стремится к конформизму, переживая чувство апатии, к деньгам оно не испытывает безразличия. Произошёл перенос цели жизни и реальных желаний на обладание чистой абстракцией — деньгами. Это сфера экономической жизни поглотила цель, смысл и интерес существования огромного большинства населения, даже не задумывающегося о том, что представляют собой деньги и для чего общество однажды изобрело их.

Таким образом, в современном обществе сложилась уникальная ситуация, которой не было ни в одну эпоху человеческой истории: переизбыток товаров массового потребления. Как следствие этого — появились люди, получающие удовольствие от самого процесса покупки. Современное потребление приобретает форму аддикции. Для человека, страдающего ониоманией, или навязчивой идеей покупать, товары теряют собственную значимость и становятся лишь инструментом вхождения и причастности к некой общественной группе. Человеческое счастье ставится в зависимость от уровня потребления, которое становится целью и смыслом жизни. Оно подменяет собой такие истинные смыслы жизни человека, как самореализация своих творческих способностей, создание и сохранение семьи, нравственное воспитание детей. Появляется стремление игнорировать духовные ценности, если они находятся вне рынка.

Современный западный или российский молодой человек не является независимым от общественного мнения. Молодёжь не нигилистична, а, напротив, кругом повязана путами социальных условностей и стереотипов. Место нравственных норм и правил поведения в современности заняли буквальные стереотипы поведения. Подобные отношения не являются и не могут быть культурными скрепами общества, так как они изначально безжизненны, сиюминутны и локальны.

Кроме осознанного выбора конформистского поведения как удобного, люди сегодня часто просто вынуждены вести себя так, а не иначе. Любой «выбор средств достижения культурных целей ограничивается институционализированными нормами» [2, с. 119]. Человек — это существо, успешно ориентирующееся внутри социальных структур, но не создающее их. Общество же, формируя структуры, опирается на способности восприятия этих структур единичными людьми. Общество, формируясь на основе ритуала, часто забывает, зачем создан тот или иной культ (примером могут служить многие наши религиозные праздники). Первоначальные цели забываются, и сильная приверженность институционально предписанному поведению становится предметом ритуала. Основной ценностью становится абсолютная конформность.

Безусловным источником конформизма, апатии и их последствий является замеченное ещё Х. Ортега-и-Гассетом «омассовление» общества. К. Леви-Стросс поддерживает мысль Х. Ортеги-и-Гассета, утверждая в одном из интервью, что «…человечество приобретает всё больше и больше антигуманную тенденцию и становится враждебным по отношению к самому себе, становится своим собственным врагом» [3, с. 73].

Апатичное социально-психологическое состояние массового человека выражается в безразличном отношении к своему существованию, проявляющемся в формальном соблюдении социальных норм — социальном конформизме. В определённом смысле иллюстрацией такого безразличного отношения к происходящему вокруг является поведение героя всемирно знаменитой повести французского писателя и философа А. Камю «Посторонний». Герой повести — Мерсо — не стремится оправдаться перед людьми за свои мысли, поступки, как это обычно бывает в случае обвинения. Он умирает с сознанием собственной правоты, которая заключается в утверждении бессмыслицы жизни, её абсурдности. Лишь смерть является неотразимым фактом, лежащим в её основе, по мысли Мерсо, и в этом трагический удел человека, над которым Мерсо не может подняться. Не зная цели, он слоняется, бредёт по жизни и то ли в дрёме, то ли наяву совершает преступление — убийство незнакомого человека, араба. Но он не понимает содеянного и не ощущает меру ответственности.

Философия «постороннего» — это философия о начале конца, о том, что бесполезно искать причины плохой жизни, потому что каждому уготован свой, небольшой фрагмент земли. «Если не я, то кто же!» — этот девиз не для постороннего, он требует активности, оптимизма и любви к другим.

По мнению исследователя феномена массовой культуры А. В. Костиной, «в отличие от высокой культуры, сущность массовой культуры состоит не в творческой деятельности, не в производстве культурных ценностей, а в формировании „ценностных ориентаций", соответствующих характеру господствующих общественных отношений, и выработке стереотипов массового сознания членов „потребительского общества"» [4, с. 88].

Конформизм оправдывается психологами и социологами, опирающимися на понимание человека как социобиологического существа. Причём биологическое начало ставится на первое место. В таком случае социум воспринимается по-фрейдистски, т. е. как репрессивный институт, подавляющий инстинкты и свободу личности, которая призвана максимально адаптироваться в своей среде, т. е. стремиться к конформности.

В бихевиоризме приветствуется точка зрения восприятия индивида как адекватно воспринимающего ситуацию и хорошо адаптированного в своём окружении члена общества. Но такая личность склонна к ценностям стабильности и безопасности, т. е., согласно В. Г. Федотовой, ценностям, которые «вообще не ценности, а условия адаптации, обрезающие высшие уровни общественного существования — постановку целей, социальную дифференциацию и интеграцию, выработку культурных образцов» [5, с. 9].

Конформизм также сформировался и как ответ на потерю культурной идентичности в процессе модернизации, т. е. в процессе имплантации экзогенных технологий, норм поведения, целей и стилей жизни. Как отмечал Э. Фромм, «потеря собственной сущности превращает конформизацию в императив: человек может быть уверен в себе лишь в том случае, если живёт в соответствии с ожиданиями других. Если мы живём не по общепринятому сценарию, то рискуем не только вызвать неодобрение и возросшую изоляцию, но и потерять уверенность в своей сущности, что угрожает психическому здоровью» [6, с. 212]. Таким общепринятым сценарием для россиянина стал западный образ жизни.

Теоретически открытое общество должно обеспечивать человеку всестороннее, свободное и творческое развитие своей индивидуальности. Не так происходит в реальности. Как оказалось, открытое общество в большей степени обеспечивает свободу не человеку массы, а человеку властной элиты.

Право человека на свободу слова превращается в свою противоположность, когда гражданин говорит о своих проблемах, но власть, используя бюрократические инструменты защиты — инструкции, непонятные массовому человеку, — стремится закрыть каналы доступа к ней.

Конформизм в российском обществе вызван культом успеха, имплантированным в нашу культуру с помощью средств массовой информации. Успех перестал рассматриваться как результат реализации своих способностей, а превратился в цель, ради которой можно забыть и о самоактуализации. Перенесённая на российскую почву ценность успеха как цель деятельности человека, вступила в конфликт с традиционной российской моралью. Испытывающие когнитивный дискомфорт люди находят выход из психологической фрустрации в ослаблении какой-либо когниции, сводя в целом всё своё существование к адаптации.

Конформизм активно поддерживается и формируется институтами государства с помощью манипулятивных технологий управления массами, подмены понятия «смысл жизни» понятием «успех», постоянной рекламой внешности, стиля жизни. Все манипулятивные методики направлены на сужение сознания у индивида. Узость сознания, с одной стороны, формируется с помощью средств массовой информации, с другой стороны, обеспечивает власти реализацию более успешной манипуляции массами, т. к. человек с ограниченным мировоззрением не склонен к интерпретации получаемой информации, не способен «читать между строк», размышлять над происходящими событиями. Подобная установка массового человека способствует принятию им конформизма как единственно возможного образа жизни и формированию эрзац-ценностей, понимаемых как здравый смысл. Одним из наиболее исследованных социальной философией конформистских типов является «массовый человек» — извне ориентированная личность. Проблема массового человека стала актуальной в XX веке в связи со становлением массового общества, в котором преобладают производственные и потребительские процессы. Основой для «омассовления» условий и форм жизнедеятельности стали унифицированные коммуникации различных видов, сравнительно высокие стандарты условий труда, потребления, видов досуга, широкие возможности территориальной мобильности. Человек такого общества стал предметом внимания различных философских направлений и школ, показавших, что массовый человек стал реальностью этого мира.

Представления о массовом человеке XX века можно охарактеризовать как эволюцию от резко критических суждений до позитивистских. Основные положения и выводы о человеке толпы, о массовой душе достаточно известны. Многочисленные концепции массового человека при всём их различии сформировали аргументированную познавательную модель, обладающую большой объяснительной силой. Я. Буркхардт, Г. Лебон, Г. Тард, Х. Ортега-и-Гассет, Э. Фромм, Д. Рисмен, Г. Маркезе, Г. Блумер, Э. Шилз, С. Московичи и др. создали социокультурный и социально-психологический габитус массового человека, живущего в постиндустриальном обществе, которому свойственны постоянные трансформации — от локальных до глобальных.

Массовая культура XXI века делает распространённым тип инфантильного человека, которого сегодня называют человеком «отдыхающим», человеком «прогуливающимся» [4, с. 46]. Такой турист сосредоточен на поисках необычного, он не обременяет себя поисками смысла и смотрит на жизнь как на экран телевизора, стремясь разнообразить свою жизнь впечатлениями и расширением круга знакомств, не обязывающих к постоянству отношений [4, с. 46]. Как отмечает исследовательница массовой культуры информационного общества А. В. Костина, юношеский культ физической активности, отсутствие привычки обсуждать проблемы, страсть к развлечениям, увеличению свободного времени, к одежде, к танцам становятся характерными и для людей зрелого возраста. В то же время молодёжь проявляет всё большее равнодушие к политике, отходит от ответственности, великих идей, страдает социальной разобщённостью и тотальным конформизмом [4, с. 43]. Никакие социальные потрясения не вызывают у неё сочувствия, не фиксируются чётко в сознании и не мешают спокойно делать карьеру, удовлетворяться «статусом кво».

Интересную концепцию современного массового человека излагает А. Н. Шишминцев в своей монографии «Философское постижение современного массового человека». Его концепция базируется на такой методологической посылке, как двойственность и противоречивость челове-

ческой природы. С этой позиции массовый человек выступает как идеальный антропологический тип, как одна из ипостасей современного человека, в то время как другой его ипостасью является человек элиты. Точно так же творчество и сама жизнь элиты, как и сотни лет назад, зависит от труда, веры и чувств человека массы. В то же время современный массовый человек отличается, как показывает автор, от массового человека доиндустриальных обществ по ряду социокультурных характеристик. Если олицетворением первого был крестьянин с непритязательным образом жизни, не работающий только во время сна, то современный массовый человек порождён научно-техническим прогрессом, рациональным планированием и тесно связан с высоко производительной техникой, умеет пользоваться знаниями и информацией.

Массовый человек соткан из противоречий. Его сущность отличается двуликостью: открытостью и незавершённостью, разнообразием и непостоянством. В нём есть устремление к свободе, равенству, осмысленному существованию и в то же время он бежит от свободы, которая накладывает бремя ответственности. Современный тип массового человека — это тип человека-функции, выполняющего определённую роль во всеобщем механизме обеспечения массового существования. Это обезличенный индивид, функционер, который легко может быть заменён другим [7, с. 30]. Такой человек живёт сиюминутными, материальными интересами, он работает в соответствии с имеющимися правилами, установленными социальными институтами, и переходит от производства к потреблению, от потребления к отдыху, от одной роли к другой. Вопрос о смысле жизни и вообще рефлексия на эту тему для такого человека неактуальна и непонятна. «Торжествует жизненный принцип: ни одно желание, ни одно побуждение не может быть постыдным» [7, с. 40].

Если для массового человека прошлого основной жизненной задачей было спасение своей бессмертной души, то современный массовый человек заботится в основном о получении земных благ и забывает о необходимости использовать имеющиеся возможности для активной самостоятельной душевной жизни, для освоения высших достижений человеческой культуры.

Однако негативные черты массового человека могут быть нивелированы, сведены к минимуму, а некоторые отрицательные наклонности даже могут превратиться в позитивные. Так, если бы массовый человек, как считает исследователь, внимал только голосу разума, а не полагался на чувства и веру в мифические идеалы, то вряд ли он смог бы преодолевать тернии истории с её войнами, катастрофами, революциями и идти дальше, проявляя смелость и доверие к голосу элитного меньшинства, ведущего за собой массы. А. Н. Шишминцев подчёркивает роль элиты в появлении и формировании современного массового человека. Эти идеи наиболее конструктивны, так как они подтверждают заявленный исследователем принцип о двойственной природе человека. Потребность массы в единомыслии, за которую её критикуют, в действительности воспитывается самой элитой, творческими людьми, поскольку, как справедливо утверждает исследователь, любое нововведение нуждается в подражании, заимствовании, чтобы укорениться. К тому же, человек элитарный порождается и контролируется в определённых пределах массой, без которой он не сможет существовать. Массовый человек в современном обществе при всей его эгоистичности жертвует своими частными интересами в пользу общего дела, что говорит о его способности к совершенствованию и самопожертвованию.

Таким образом, можно сказать, что представленный философско-антропологический и социально-психологический портрет современного массового человека нельзя отнести к какому-то одному максималистскому дискурсу — оптимистическому или пессимистическому, и в этом его продуктивность. Вопрос о возможностях обретения свободы, творческих способностей, прорыва в постижении задач своего подлинно человеческого бытия остаётся для массового индивида открытым.

Исследователь проблем современного российского общества Ж. Т. Тощенко выделяет такой особый тип человека, живущего в транзитивном обществе и переживающего ценностный вакуум, как тип «парадоксального человека» [8]. По его мнению, в российском обществе родилось и умножается уникальное явление — парадоксальный человек, установки и поведение которого олицетворяют противоречие, возникшее внутри общества, в реальной жизни людей.

Понятие парадокса, означающее странное, расходящееся с общекультурным суждение, противоречит здравому смыслу и кажется невероятным. Парадокс может представлять из себя процесс, результат которого противоречит первоначальному замыслу. Парадоксальность, по мнению автора, становится актуальной для переходного общества, каким является российское общество. Это объясняется тем, что на смену прежней системе ценностей приходит иная. Процесс смены ценностных представлений не может совершиться в одночасье, поэтому параллельно и пересекаясь друг с другом существуют не только традиционные верования, постулаты, нормы и т. д., но и возникающие новые. Однако объём таких взаимоисключающих феноменов имеет тенденцию к нарастанию, а сами феномены проявляют себя в сознании и поведении человека.

При этом исследователь обращает наше внимание на то, что парадоксальность общественного сознания есть новый класс явлений, которые ранее не фиксировались или на которые не обращалось должного внимания. Знание о парадоксах было в основном связано с теоретическим отношением к действительности и осмысливалось в парадигме теории познания (достаточно вспомнить апории Зенона Элейского и антиномии И. Канта). Что же касается парадоксов, возникающих в реальной общественной жизни, то они не рассматривались.

Парадоксальный человек, о котором пишет Ж. Тощенко, обнаруживает парадоксальность своего поведения и сознания таким образом, что, декларируя одни жизненные идеалы, он в действительности реализует им противоположные или другие. Таким образом, человек громогласно заявляет и пишет об одних ценностях и целях, а в практической жизни им не следует. Не всегда понятно, каким образом в одном и том же человеке одновременно укореняются взаимоисключающие ориентиры. Такая личность не замечает парадоксов своих реальных поступков, действий и суждений.

Ж. Тощенко отмечает, что острота проблемы состоит в том, что парадоксальность в поведении и в установках принимает массовый характер. Она характерна как для социальных групп и всего общества, так и для одного человека. Взаимоисключающие суждения и ориентации уживаются в сознании одних и тех же людей. Соединение несоединимого, совпадение несовпадающего указывает на то, что в сознании человека переплетаются злонамеренность и самоотверженность, консерватизм и креативность, рабская зависимость и анархизм. В одно и то же время человек проявляет стремление достичь одновременно взаимоисключающих результатов, освоить территории, которые находятся в противоположных направлениях.

Парадоксы общественного сознания в экономической, экологической, политической, нравственной и других сферах исследуются автором как реальные действия людей. Происходит кардинальная переориентация сознания, особенно молодёжи, на потребительские ценности.

Для российского общества особенно явными выглядят парадоксы исторического и правового сознания. Все граждане российского общества высказываются за необходимость построения правового, демократического государства, в котором все люди — от рядового до президента — были бы равны перед законом. В то же время в обществе на телевизионном экране господствует воровское шоу. Практически все каналы телевидения рекламируют в телевизионных фильмах героев-бандитов, криминальный образ жизни, блатной воровской жаргон. Такой же парадоксальностью отличается, например, религиозное сознание. Повальное обращение массы, ранее настроенной в основном атеистично, к религии внушает не надежду на лучшее, а, скорее, опасение, тем

более что вновь обращённые «верующие» сочетают свою веру с языческими и различными нетрадиционными представлениями.

Традиционное понятие о справедливости в российском массовом сознании уже не тождественно уравниловке. В то же время социальное расслоение становится угрозой для молодой российской демократии. Однако мобилизационный потенциал общественного запроса на справедливость, по мнению исследователя, не велик и адресован в основном к власти. Само же содержание справедливости россияне не сводят к диспропорциям в материальном статусе, а связывают с невозможностью достижения успеха и материального достатка с помощью легальных средств, одобряемых обществом. Если ты богат, то мораль в таком случае остаётся для нищих. Главный же сдвиг, происшедший в сознании, о котором говорит учёный, заключается в том, что справедливость перестала оцениваться людьми как возможность достижения солидарности, которая может возникнуть в борьбе всех людей за установление справедливости. Таково же отношение парадоксального человека и к свободе. Понимание свободы не только своё у каждого россиянина, но и являет собой сложный узел взаимоисключающих друг друга понятий. Нередко свобода отождествляется с необходимостью осуществлять любое желание: «что хочу, то и ворочу», с нигилизмом и цинизмом.

Выводы. Панорама представленных парадоксов даёт возможность увидеть целостную парадоксальную картину действительности российского общества.

Какое же место занимает интеллигентный человек в этой череде парадоксов? Ж. Т. Тощенко показывает, что сам статус интеллигента парадоксален. Интеллигенция была той социальной группой, которая наиболее активно поддержала реформы, необходимость перемен в российском обществе в 90-е годы. В то же время значительная часть интеллигенции оказалась на обочине транзитивного общества, пытающегося осуществить модернизацию. Лишь незначительная часть интеллигенции смогла адаптироваться в резко изменившейся ситуации, чтобы продолжать заниматься творческим трудом. Однако можно ли её считать по традиции интеллигенцией? Скорее, она вписывается в класс креаторов, создающих инновационные продукты, обеспечивающих приращение знания с его последующей реализацией и получающих высокий доход. Эта часть интеллигенции тесно связана с экономической сферой и успешно преодолевает узкие горизонты заботы о хлебе насущном, поэтому для неё вопрос о подвижничестве, бессребреничестве не актуален.

Таким образом, российская действительность предстаёт как переполненная реальными противоречиями, проявляющимися в парадоксальности сознания человека, переживающего бесконечные трансформации общества, в котором он живёт. Свобода выражения человеком своей субъективности нередко оборачивается для него ловушкой. Он порой не просто бежит от свободы, но перестаёт делать свой собственный выбор, завершает своё бытие с помощью новых инструментов: конформизма и апатии к социальному бытию. Исследование социальных типов личности имеет прямое отношение к модернизации России, так как без активного участия населения она не может реализоваться.

Выводы проведённого анализа могут служить обоснованием разработки ценностно-значимых идеологем, помогающих гражданам преодолеть социокультурный кризис.

Библиографический список

1. Гроф, С. Революция сознания / С. Гроф, Э. Ласло, П. Рассел. — Москва: АСТ и др., 2004. — 248 с.

2. Мертон, Р. Социальная структура и аномия / Р. Мертон // Социологические исследования. — 1992. — № 3. — С. 91—96.

3. Беседа с Клодом Леви-Строссом Константина фон Барлевски и Галлы Наумовой // Вопросы философии. — 2009. — № 5. — С. 66—79.

4. Костина, А. В. Массовая культура как феномен постиндустриального общества / А. В. Костина. — Москва: Едиториал УРСС, 2005. — 352 с.
5. Федотова, В. Г. Хорошее общество / В. Г. Федотова. — Москва: Прогресс-традиция, 2004. — 544 с.
6. Фромм, Э. Бегство от свободы: пер. с англ. / Э. Фромм; под общ. ред. П. С. Гуревича. — Москва: Прогресс, 1995. — 256 с.
7. Шишминцев, А. Н. Философское постижение современного массового человека / А. Н. Шишминцев. — Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2002. — 187 с.
8. Тощенко, Ж. Т. Парадоксальный человек / Ж. Т. Тощенко. — Москва: ЮНИТИ, 2008. — 543 с.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

References

1. Grof, S. Revolyuciya soznaniya / S. Grof, E`. Laslo, P. Rassel. — Moskva: AST i dr., 2004. — 248 s. — In Russian.
2. Merton, R. Social`naya struktura i anomiya / R. Merton // Sociologicheskie issledovaniya. — 1992. — # 3. — S. 91—96. — In Russian.
3. Beseda s Klodom Levi-Strossom Konstantina fon Barlevski i Gally` Naumovoj // Voprosy` filosofii. — 2009. — # 5. — S. 66—79. — In Russian.
4. Kostina, A. V. Massovaya kul`tura kak fenomen postindustrial`nogo obshhestva / A. V. Kostina. — Moskva: Editorial URSS, 2005. — 352 s. — In Russian.
5. Fedotova, V. G. Xoroshee obshhestvo / V. G. Fedotova. — Moskva: Progress-tradiciya, 2004. — 544 s. — In Russian.
6. Fromm, E`. Begstvo ot svobody`: per. s angl. / E`. Fromm; pod obshh. red. P. S. Gurevicha. — Moskva: Progress, 1995. — 256 s. — In Russian.
7. Shishmincev, A. N. Filosofskoe postizhenie sovremennogo massovogo cheloveka / A. N. Shishmincev. — Rostov-na-Donu: Izd-vo Rost. un-ta, 2002. — 187 s. — In Russian.
8. Toshhenko, Zh. T. Paradoksal`ny`j chelovek / Zh. T. Toshhenko. — Moskva: YuNITI, 2008. — 543 s. — In Russian.

SOCIAL TYPES IN TRANSITIVE SOCIETY

S. N. Yaremenko, T. A. Bondarenko, E. G. Kurova
(Don State Technical University)

Some sociocultural and social-psychological personality characteristics in the transitive society are analyzed. The effect of such determinants as apathy and vacuum on the human behaviour is shown. The characteristics of 'mass man', 'resting man', 'paradoxical man' are presented.
Keywords: *reason for being, apathy, conformism, social type.*

УДК 101.8:316.75(470+571)

Социальная философия как теоретическое основание идеологии

В. Г. Тахтамышев
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Исследуется идеологический процесс Нового времени, выражающийся в появлении специализированной социально-политической идеологии. Обосновывается положение, что проектирование перспектив развития российского общества предполагает преодоление односторонности социально-философских концепций, формирующих теоретический базис ориентированной в будущее идеологии.
Ключевые слова: *социальная философия, идеология, философия и социальная практика, социально-политические трансформации в российском обществе.*

Введение. Современное состояние российского общества, имеющее высокий уровень неопределённости, характеризуется исчерпанием той идеологической парадигмы, в рамках которой осуществлялись экономические и социально-политические преобразования в XX столетии. Поиск новой идеологии, которая позволит сформировать проект нового будущего, предполагает переосмысление старой идеологической парадигмы и её философских оснований с целью идентификации её жизнеспособных и отживших элементов. Анализ базисных положений философского характера, влияющих на формирование социально-политических идеологий Нового и Новейшего времени, и является предметом авторского анализа.

Философские основы государственной идеологии советской России. Конец XX столетия ознаменовался завершением самого выдающегося — коммунистического — проекта человечества Нового времени. Видимое завершение этого проекта свидетельствует не о его несостоятельности, а о том, что форма, в которой выразилось устремление человека к совершенному общежитию, исчерпала себя и требует обновления. Опыт истории говорит, что любая форма социального устройства, которая принимается её создателями за совершенную и неизменную, неминуемо оказывается преходящей и отмирает, однако достигнутый в ней результат социального прогресса сохраняет себя как ставшие привычными новые возможности общественной жизни.

Одна из особенностей социальных трансформаций российского общества в XX столетии имеет важное значение для понимания роли философского знания в жизни общества. Построение коммунизма рассматривалось его теоретиками и реальными политиками как создание общества, в котором управление всеми процессами основывается на научной теории. В качестве теоретической базы социально-гуманитарных и естественных наук рассматривалась философия. Российское общество — единственное, где философское знание получило статус, на который всегда претендовало и которого никогда не имело, — статус учения, положенного в основание политической идеологии и политического управления. Впрочем, нельзя сказать, что в странах Запада не существовало комплекса ценностей, на которые опирались политики. Такой системой ценностей были рационализированные христианские представления. Однако следует отметить, что эти представления никогда не получали статус систематизированных понятий, положенных в основу общеобязательных учебных дисциплин и политических проектов.

Особенность российского социального проекта, которая нас привлекает, — стремление опираться в социальных преобразованиях на философскую теорию. Очевидно, что авторы реальных социально-экономических, политических и технологических преобразований в России планировали их, исходя из некоторых философских предпосылок. Это позволяет сформулировать вопрос: «Насколько исходное философское учение, положенное в основу практических преобразований, смогло выполнить возложенную на него роль, и насколько вообще философия способна

быть теоретическим основанием социальных изменений?» Ответ на этот вопрос мы и попытаемся найти.

Философским учением, представлявшим собой теоретическую базу социально-гуманитарных наук, обеспечивавшим обоснование проектов строительства справедливого сообщества в России, был, как известно, диалектический материализм. Маркс, отдавая основное время экономическим штудиям, дал его характеристику только в самой общей форме. Идеи Маркса были развиты Энгельсом, который представил диамат как синтез диалектики Гегеля и материализма Фейербаха. Следует отметить, что влияние Гегеля было более существенным и находит отражение в теоретических построениях и Маркса, и Энгельса. В какой степени элементы гегелевского учения, заимствованные марксизмом, могли стать частью теоретической системы, обосновывающей социальные преобразования? Попытаемся ответить на этот вопрос, обратившись к анализу философии Гегеля.

Гегелевская философия как один из источников ориентированной на практику социальной философии. Гегелевская система беспрецедентна для Нового времени по полноте охвата рассматриваемого материала, по своей глубине и последовательности. Гегель систематизировал всё знание, накопленное к началу XIX столетия. Как отмечает В. Виндельбанд, «Гегель — величайший систематизатор, какого когда-либо знала философия» [1, с. 267].

Целью философии Гегеля является научное описание действительности, она систематизирует всё накопленное человеком знание, опираясь на найденные всеобщие основания. Однако философия, по Гегелю, выступает на мировую арену тогда, когда действительность закончила своё развитие. В этом отношении чрезвычайно характерны заключительные замечания Гегеля, высказанные им в конце курса лекций по философии религии. Они позволяют сделать вывод, что его философия — система знания, но не орудие изменения действительности. В частности, Гегель говорит, что в современной ему социальной действительности нет единства внешнего и внутреннего, что упадок зашёл слишком далеко. Философия примиряет разум и веру, но, продолжает философ, «…это примирение само является лишь частичным, оно лишено внешней всеобщности, в этом отношении философия — обособленное святилище, и её служители образуют изолированное сословие жрецов, которое не может совладать с миром и должно оберегать владение истиной. Какой выход из своей расколотости найдёт временное, эмпирическое настоящее… это уже не является непосредственно практическим делом и предметом философии» [2, с. 333]. Тем самым Гегель указывает на то, что мир стал расколотым на сферу истинного мышления, науки и эмпирическую действительность. Поскольку Гегель говорит о том, что истина не может совладать с действительностью, он предполагает, что она в принципе может быть орудием изменения социальной реальности. Однако в этом отношении философия не им рассматривается, для него она выступает только системой знания.

Таким образом, можно сделать вывод, что, по мысли Гегеля, философия может принимать различные формы: быть системой истинного знания и средством изменения социальной реальности. Очевидно, эти формы выражают одно содержание, но так, что в первом случае более важным становится законченность выражения системы знания и полнота охвата культурного материала, а во втором — выражение исходных положений, позволяющих осмысливать и влиять на изменяющуюся реальность. Несомненно, что здесь речь идёт о теоретических и практических аспектах философии.

Для создания теоретического орудия изменения действительности Маркс пытался использовать элементы философии Гегеля, применяя её исходные положения — диалектику. Однако в полной мере он не решил эту задачу, поскольку отказался от существенного содержания теоретической философии — принципа завершённости и целостности.

С точки зрения Гегеля, подлинная наука начинается тогда, когда разум освободился от давления действительности и ушёл в себя. Наука выступает как описание данного. Такое понимание предназначения науки и философии означает, что определяющий это понимание принцип культуры в полной мере выразил себя и завершил. Этот принцип культуры Гегель лаконично выразил как становление субстанции субъектом [3, с. 9]. Другими словами, речь идёт о том, что человек в своём индивидуальном, реальном сознании в полной мере воплотил абсолютное содержание, всеобщий закон действительности, всеобщую логику её развития.

Учение Маркса было единственным учением, которое рассматривало гегелевскую философию как живое знание. Маркс отталкивается от отмеченного Гегелем факта отторжения философии действительностью и ставит смелую задачу соединения философии и пролетариата. Фактически Маркс стремится осуществить практическую функцию теоретической философии. В целом правильно представляя задачу, Маркс решает её только частично, поскольку отказывается от существенных моментов самой теоретической философии.

Философия Гегеля есть выражение итога развития европейской культуры. Однако дальнейшее развитие мировой культуры предполагает выход за границы гегелевской философии как только теоретической системы знания и преодоление ограниченности европейской культуры в целом как только момента глобальной культуры. Это движение начато, в сущности, Марксом, который сделал попытку дополнить классическую философию идеологией, реализовать практическую функцию теоретической философии. Поскольку этот синтез отбросил существенное содержание теоретической философии, он оказался неудачным. Тем самым задача создания философии как средства объяснения и преобразования действительности остаётся актуальной.

Гегель рассматривал свою философию как систему знания, объясняющую природу и мир культуры как самосознание западноевропейской цивилизации. Однако это самосознание не принято западноевропейской культурой как своё собственное и по существу отвергнуто ею. Это обстоятельство можно объяснить тем, что в рамках одной системы мирообъяснения возникла другая, более универсальная — и по идейным основаниям, и по социокультурным выводам, — что обеспечивает ей более широкое распространение. В отношении гегелевской системы следует сделать вывод, что она, возникнув как синтез всей западноевропейской культуры, вышла за её пределы, по существу являясь синтезом всей глобальной культуры. Данное обстоятельство является свидетельством ограниченности западноевропейской культуры и её идейных основ. Но оно же говорит и о том, что гегелевское учение является провозвестником новой глобальной культуры и предполагает новую социальную действительность, которая принимает эту систему мышления в качестве своего самосознания. Можно утверждать, что гегелевская система является идеологической конструкцией, самосознанием глобального человеческого сообщества.

Ограниченность идеологической конструкции, с помощью которой Маркс пытался придать гегелевской философии практический характер, состоит в том, что, пытаясь дополнить гегелевскую философию идеологией, Маркс вынужден был придать ей характер открытости. И он сделал это, устранив завершающий момент логической конструкции — момент позитивной диалектики — и сосредоточившись исключительно на моменте негативной диалектики. Маркс взял у Гегеля только негативную диалектику — теорию борьбы, никогда не завершающуюся примирением борющихся сторон. Эту теорию борьбы Маркс превратил в реальную борьбу со всей предшествовавшей культурой, так что его учение прервало связь с ней, обрекая себя на изолированность. Универсализм, который заимствуется Марксом у Гегеля, теряет свой актуальный характер, принимает образ будущего глобального сообщества, в действительности оставаясь только движением к нему, которое не находит даже теоретического завершённого выражения. Использование Марксом в «Экономическо-философских рукописях 1844 года» (и последующих работах) понятий, происходящих из гегелевской системы (человеческая деятельность как универсальная, свободная

от физической потребности, воспроизводящая всю природу по меркам любого вида и законам красоты), не вносит в их содержание никакой завершённой определённости. Провозглашаемая универсальность оказывается преодолением постоянно возникающих границ, она не есть актуальная реальность.

Социальная философия и перспективы развития российского общества. Трансформация постсоветского общества привела к полной изоляции индивида от рычагов влияния на социальные процессы и к отказу от самой концепции научного управления социальными процессами. В этих условиях задача теоретического описания общества и снятия реальных социальных противоречий равносильна опирающейся на использование научного понимания реальности задаче выживания общества и отдельной личности. Эта проблема может решаться в рамках практической философии, которая предполагает опору на новую концепцию социальной действительности, отбрасывающую изжившее себя разделение этой действительности на изолированные, замкнутые в себе элементы. Понимание природы общества в границах практической философии приводит нас к пониманию исторического процесса как способа достижения локальными человеческими общностями полноты осуществления характеристик человеческого общества вообще. Иными словами, содержание исторического процесса следует рассматривать как формирование и реальное существование в локальных формах такой человеческой организации, которая обеспечит полное использование национально-локального культурного материала для увеличения возможностей своего устойчивого существования, предельное осуществление всего богатства социокультурной действительности в процессе коммуникативного взаимодействия индивидов.

Мы исходим из того, что общество есть взаимодействие людей, которое локализовано в пространстве и времени, обеспечивает своё воспроизводство на протяжении ряда поколений, а также своё самоуправление. Оно конституируется в процессе взаимодействия двух форм деятельности. Первая из них направлена на преобразование природы. Содержание второй составляет воспроизводство действительности как системы устойчивых форм культуры, имеющих ценность независимо от практической потребности момента. Общество характеризуется равновесием двух противоположных по своему содержанию форм деятельности: деятельности, преобразующей природную среду бытия общества, и деятельности, формирующей идеальный мир природы и ценностей культуры. Закон жизни общества — это устойчивое подвижное равновесие противоположных типов деятельности, конституирующих его существование.

Закон общественной жизни реализуется посредством социальных институтов и механизмов социальной мобильности, обеспечивающих воспроизводство общества и перераспределение человеческих ресурсов в ответ на меняющиеся условия природного и исторического бытия. Закон жизни общества обеспечивает его воспроизводство, ставя в определённую зависимость друг от друга материально-преобразующую и духовно-созидательную деятельность. Противоречие этих форм деятельности и способов бытия человека в итоге устраняется за счёт того, что происходят изменения в каждой из них. Однако поскольку деятельность человека сознательна, а спектр её возможных целей задаётся опознанными ценностями культуры, то универсализация этих ценностей в границах творческо-культурной деятельности должна приводить к расширению горизонта возможных целей и, следовательно, к более эффективному поиску путей преодоления зависимости существования общества от природных условий. Следовательно, можно сделать вывод, что главным фактором устойчивости общественной системы является её способность формировать и принимать более универсальные ценности культуры. Поэтому задачу практической философии следует видеть в определении более высокого уровня универсализации ценностей культуры и в обеспечении их проникновения в наличную культуру общества.

Заключение. Тотальная зависимость, характеризующая взаимодействие индивидов в авторитарном обществе, сменилась в современной России тотальным отчуждением индивидов друг от

друга и от социальных институтов. Средством преодоления этого отчуждения должны стать прежде всего более универсальные ценности культуры, способные объединить антагонистические формы культуры и враждебные социальные группы. Опознавание этих ценностей как актуального содержания духовной жизни человека — жизненная задача отдельной личности, решение которой позволяет ей формировать новые формы социального взаимодействия и влиять с их помощью на социальные институты. Выход индивидуума из замкнутого идеального пространства к реальному социальному действию есть историческая необходимость, актуализирующая практическую функцию теоретической социальной философии.

Библиографический список

1. Виндельбанд, В. История новой философии в её связи с общей культурой и отдельными науками. В 2 томах. Том 2. От Канта до Ницше / В. Виндельбанд; пер. под ред. А. И. Введенского. — 3-е изд. — Санкт-Петербург: тип. М. М. Стасюлевича, 1913. — 396 с.

2. Гегель, Г. В. Ф. Лекции по философии религии. Часть 2. 1821—1831 / Г. В. Ф. Гегель // Философия религии. В 2-х томах. Том 2. — Москва: Мысль, 1977. — (Филос. наследие; том 74). — С. 5—336.

3. Гегель, Г. В. Ф. Сочинения. В 14 томах. Том 4. Система наук. Часть первая. Феноменология духа / Гегель; пер. Г. Шпета. — Москва: Соцэкгиз, 1959. — XLVIII, 440 с.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

References

1. Vindel`band, V. Istoriya novoj filosofii v eyo svyazi s obshhej kul`turoj i otdel`ny`mi naukami. V 2 tomax. Tom 2. Ot Kanta do Niczshe / V. Vindel`band; per. pod red. A. I. Vvedenskogo. — 3-e izd. — Sankt-Peterburg: tip. M. M. Stasyulevicha, 1913. — 396 s. — In Russian.

2. Gegel`, G. V. F. Lekcii po filosofii religii. Chast` 2. 1821—1831 / G. V. F. Gegel` // Filosofiya religii. V 2-x tomax. Tom 2. — Moskva: My`sl`, 1977. — (Filos. nasledie; tom 74). — S. 5—336. — In Russian.

3. Gegel`, G. V. F. Sochineniya. V 14 tomax. Tom 4. Sistema nauk. Chast` pervaya. Fenomenologiya duxa / Gegel`; per. G. Shpeta. — Moskva: Soce`kgiz, 1959. — XLVIII, 440 s. — In Russian.

SOCIAL PHILOSOPHY AS THEORETICAL GROUNDS OF IDEOLOGY

V. G. Takhtamyshev
(Rostov State Transport University)

The ideological process of Modern age expressed in the advent of the specialized social and political ideology is investigated. The point that planning development prospects of the Russian society assumes coping with the unilateralism of the social and philosophical conceptions forming the theoretical basis for the future-oriented ideology is established.
Keywords: *social philosophy, ideology, philosophy and social practice, social and political transformations in Russian society.*

УДК 165.1

О некоторых противоречиях концепции эволюционной эпистемологии

А. Б. Тазаян, А. Е. Аствацатуров
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены предпосылки эволюционной эпистемологии. Выявлены её концептуальные изъяны, даны возможные подходы их преодоления.
Ключевые слова: *эволюционная эпистемология, гипотетический реализм, фаллибилизм, критический рационализм, фальсификационизм, кумуляция, инструментализм, психическое, физическое, физиологическое, принцип дополнительности.*

Введение. В последнее время широкое распространение получила эволюционная теория познания. Она рассматривается Л. А. Микешиной в контексте принципа доверия субъекту познания. Некоторые результаты, полученные этой концепцией, как показывает в своём исследовании Л. А. Микешина, представляются вполне удовлетворительными. Предпосылки эволюционной теории познания Л. А. Микешиной сформулированы в форме утверждения: «человек принадлежит природному миру и должен рассматриваться наряду с другими его составляющими; само приспособление к этому миру и вся жизнь человека есть процесс познания; модели эволюции и самоорганизации сложных систем необходимо применять и к познавательной деятельности» [4].

Аргументы, обосновывающие эволюционный взгляд на эпистемологию, станут предметом рассмотрения в данной статье.

Предпосылки эволюционной эпистемологии: критический анализ. Первый аргумент эволюционной теории познания основывается на положении «гипотетического реализма» (Д. Кэмпбелл): «следует опираться на *предположение* о существовании реального мира, структуры которого могут быть частично познаны, состоятельность же самого предположения может быть проверяема» (курсив наш. — *А. Т.*) [4]. Далее даётся пояснение, что лидеры этой доктрины, К. Лоренц и Г. Фоллмер, интерпретируют гносеологический статус истины в качестве рабочих гипотез, от которых в принципе можно отказаться. То есть принцип фаллибилизма определяет пределы компетенции эволюционной эпистемологии.

Первый аргумент, являющийся «синтезом» наивного реализма с методологией критического реализма, в целом отражает гипотетико-дедуктивную модель эволюции научного знания. Но этот аргумент не обладает новизной и поэтому не добавляет ясности в основания самой эпистемологии. Если внешний мир частично познаваем, то почему знание о нём является «рабочей гипотезой», а не истиной? В эволюционной эпистемологии остаётся открытым вопрос, имеющий фундаментальное значение в эволюционной парадигме: каково соотношение понятий «истина», «эволюция» и «гипотетичность»? Как можно объяснить соответствие знания действительности, которое в то же время не является истиной? Следует признать, что концепция частичной репрезентации в эволюционной эпистемологии не получила удовлетворительного решения.

Теоретико-познавательный статус «рабочей гипотезы» и вся концептуальная схема эволюционной эпистемологии повторяют концепцию роста научного знания критического рационализма. Принципиальная разница между ними заключается в том, что К. Поппер, автор методологии критического рационализма, критикуя наивный реализм, показал несостоятельность корреспондентской концепции истины в её традиционной интерпретации. Нет удовлетворительного решения проблемы критерия соответствия. Только учитывая это обстоятельство, знание приобретает статус гипотезы и в принципе всегда может быть опровергнуто. В этом видится новизна критического рационализма. Критерии верификации и фальсифицируемости не симметричны, послед-

ний обладает большим логическим ресурсом. Фальсификационизм Поппера поставил под сомнение претензии картезианского рационализма на обладание достоверным знанием. Он показал, что исключительно рациональными средствами, во-первых, нельзя получить истинного знания; во-вторых, если даже гипотетически такая цель была бы достижима, у эпистемологии нет необходимых средств, чтобы удостовериться в этом. Только критерий фальсификации устанавливает статус рациональной приемлемости знания в качестве гипотезы. Ненаучные утверждения в принципе невозможно опровергнуть.

Принимая тезис о частичной познаваемости, мы должны принять факт кумуляции знания. «Сумма относительных истин» не может быть в целом отброшена, считают представители эволюционной эпистемологии. Но это утверждение в их концепции не получает теоретического обоснования.

Второй аргумент эволюционной теории познания утверждает, что априорные и апостериорные познавательные инструменты субъекта должны быть корректно применены. Они утверждают о наличии соответствия между «вещью в себе» и рациональными структурами мыслительной деятельности. Это соответствие, согласно эволюционной теории познания, есть результат адаптации человека к среде его обитания. «Организация органов чувств и нервов, дающая возможность живому существу ориентироваться в окружающем мире, — пишет К. Лоренц, — возникла эволюционным путём, в столкновении и приспособлении к действительности — той самой действительности, которую эта организация заставляет нас переживать в нашем созерцании как феноменальное пространство» [3]. Указанное положение у К. Лоренца служит для решения двух задач: во-первых, для критики априоризма Канта, который не усматривал содержательной связи между мыслительными структурами и изменяющимся внешним миром, во-вторых, для развёртывания собственной концепции априоризма, содержательно увязанной с процессом эволюции. Гипотеза об эволюционных основаниях априоризма не имеет убеждающих фактических свидетельств, она не опровергает сомнения Канта о невозможности обосновать обусловленность форм мыслительной деятельности внешним миром. Из условий адаптации человека к внешнему миру с необходимостью не следует, что его мыслительные структуры должны соответствовать структуре внешнего мира. В качестве гипотезы это положение может быть принято для систематизации фактов и постановки исследовательских задач. Но при этом надо иметь в виду, что нельзя исключить альтернативные гипотезы, решающие эти задачи. Так, в частности, инструментальный подход объясняет процесс адаптации, не прибегая к эволюционистской интерпретации.

Следует признать, что этот методологический «изъян» эволюционной эпистемологии является нормой неклассической рациональности. Поэтому методология инструментализма находит большее понимание научного сообщества. Интерпретация человеческой эволюции, выраженная в терминах инструментализма, выглядит более привлекательной, ибо она исключает спорную гипотезу онтологизации знания.

Кстати, третий аргумент эволюционной эпистемологии согласуется с инструментальной интерпретацией, он утверждает, что врождённые структуры познания — это адаптивные структуры. То есть он избегает конкретизации, которая с неизбежностью порождает степень его проблематичности.

Аргумент четвёртый частично опровергает второй аргумент. В нём утверждается, что у человека формируется образ действительности, напоминающий «...то, что знает о природе своей добычи грубый и примитивный охотник на тюленей или китобой, — только то, что представляет для него практический интерес. Но то немногое, что позволяет нам знать устройство наших органов чувств и нашей нервной системы, выдержало испытание в течение эонов. И этому знанию мы можем доверять — насколько его хватает!» [3]. С этими доводами К. Лоренца можно согласиться. Однако из этого утверждения, которое прекрасно согласуется с инструментализмом, нельзя вы-

вести соответствие мыслительных структур внешнему миру. Ведь процесс адаптации человека к окружающей среде можно рассматривать в контексте его деятельности. Но эволюционная теория познания, следуя традициям наивного реализма, проблематичные аргументы представляет в качестве достоверных.

Пятый аргумент эволюционной эпистемологической доктрины разрушает целостность, взаимосогласованность её концептуальной схемы. Лоренц во втором аргументе указывает на наличие логической связи между «вещью в себе» и априорными формами созерцания и мышления. Фоллмер обращает внимание на то, что между формами созерцания и внешним миром нет однозначной и необходимой связи. Образы мира выступают синтезом врождённых способностей и культурных контекстов [8]. Неявно Фоллмером отрицается логическая связь между образами и их референтами. Различие подходов Лоренца и Фоллмера к этому вопросу имеет фундаментальное значение. Во-первых, если «образы» не есть копии реального мира, тогда вопрос о частичной познаваемости мира снимается. Во-вторых, позиция Фоллмера по этому вопросу свидетельствует о неприятии им принципа эссенциализма. Констатация Фоллмером логического разрыва между образом предмета и самым предметом повторяет общепринятые стандарты современной эпистемологии. Безусловно, существуют логические разрывы «между опытом и разумом, так же как между чувственными восприятиями и объективным миром» [9]. На данный факт обращал внимание А. Эйнштейн. Учитывая это обстоятельство, К. Поппер отмечал несостоятельность использования принципа соответствия в качестве критерия истины. Ревизия классической концепции истины породила новое толкование «объективности» в терминах интерсубъективности. И в этом смысле Фоллмер совершенно справедливо акцентирует внимание на коммуникативном аспекте познавательной деятельности. Перевод онтологических проблем в контекст философии языка не открывает продуктивных перспектив их решения или элиминацию из эпистемологии.

Предпосылки, на которых строится эволюционная теория познания, обнаруживают себя в различных эпистемологических доктринах. Ясности в познавательный процесс они не вносят. Эволюционная теория познания предстаёт как доктрина, которая достижения биологической науки использует для решения проблем эпистемологии. Но дело в том, что эти результаты биологической науки достигнуты посредством тех мыслительных рациональных структур, которые они призваны обосновать. Поэтому разорвать злополучный «логический круг» процесса познания, познания без метафизических предпосылок, не удалось и эволюционной теории познания.

В данной концептуальной схеме необходимо решение двух имеющих фундаментальное значение задач: а) как взаимодействуют психическое и физическое; б) существует ли содержательная связь (и какова она), между знанием о внешнем мире и самим этим миром.

Философия располагает различными решениями этих проблем. В последнее время большое распространение получил подход, опирающийся на принципы квантовой механики. Психические процессы, как и физические явления, с точки зрения данного подхода представляют всего лишь разнообразные комбинации движущейся материи. То есть признаётся тождество психического и физического: любая наша мысль есть событие в нашей центральной нервной системе и головном мозге. В развёрнутой форме эта концепция представлена в философии Дж. Дж. К. Смарта. Его доктрина обновлённого материализма приобрела широкую известность в англоязычной философской общественности. «Образы или чувственные данные, — пишет Смарт, — могут быть зелёными в производном смысле, но это не должно вызывать никакого беспокойства, потому что с точки зрения, которую я отстаиваю, образы и чувственные данные не являются составными частями мира, хотя процессы получения образов или чувственных данных являются реально происходящими процессами. Опыт получения чувственных данных зелёного цвета сам не является зелёным; он есть процесс, происходящий в сером веществе» (цит. по кн.: [7, с. 343]). Особенностью этой концепции является то, что, независимо от способа интерпрета-

ции о соответствии образа и чувственных данных, принимается принцип тождества психических и физических процессов. Она, как и эволюционная теория эпистемологии, не преодолевает «порочный круг», о котором неоднократно писал в своих работах Витгенштейн. «Предложение, — отмечает он, — в одно и то же время может быть истолковано как подлежащее проверке опытом, а в другое — как правило проверки» [2]. Смарт доказывает достоверность принципа тождества психического и физического, привлекая естественно-научное знание. Но естественно-научное знание, по сути, — гипотетическое знание. Концептуальные предпочтения, хотя они не являются произвольными, не имеют необходимого характера, у исследователя всегда есть широкий выбор альтернативных гипотез. Т. Нагелю, например, такое тождество представляется сомнительным. «Отождествление мыслительных событий с физическими (физикализм), — пишет Т. Нагель, — требует объединения этих двух типов свойств в одной вещи, а это сопротивляется пониманию» [5]. Каузальный аргумент не может обосновать это тождество. Мы осознаём разнообразные ощущения, а не последовательность физических событий, происходящих в мозге. Проблематичность концепции Смарта не свидетельствует о том, что нельзя усилить аргументацию при решении проблемы психического и физического в контексте материалистической парадигмы.

Решение проблемы психического и физического осложняется в связи с семантическими проблемами естественного языка. С одной стороны, многозначностью слов естественного языка, которые мы используем при описании наших переживаний в процессе взаимодействия с внешним миром, с другой — устойчивость смысловой коннотации, аккумулирующая социокультурный опыт, который проводит демаркацию духовного и материального. «Что мешает думать, — вопрошает Нагель, — что состояние переживаемого опыта, осознаваемого мной интроспективно, есть физическое состояние? Проблема состоит в отсутствии какой-то мыслительной связи между изменением моей субъективной точки зрения и изменением физико-химической активности мозга» [5]. Проблема, поставленная Нагелем, не может быть отброшена. Можно ли ослабить его сомнение?

Реалистическая версия предлагает более утончённую систему аргументации в решении проблемы, которой касается Нагель. Она выдвигает гипотезу о наличии корреляции между ощущением и состоянием мозга. То есть определённому типу ощущений должны соответствовать определённые состояния мозга. Концепция корреляции требует уточнения этого термина в связи с результатами, которые были получены К. Прибрамом. «Для объяснения фактов восприятия, — пишет он, — недостаточно изоморфизма, простого („точка в точку") соответствия между стимулом и картинкой возбуждения в коре, обусловленной анатомией системы. Когда в результате удаления коры происходит выпадение 80 % зрительного поля, узнавание осуществляется благодаря оставшейся части зрительного поля…» [6]. Прибрам отмечает, что формирование восприятия не зависит от объёма поступающей информации (от интенсивности раздражителей), угла зрения и т. д. Эти особенности восприятия значительно отличают его от фотографического изображения. «…От обычного фотографического изображения оторвите 98 или даже 80 % у фотографии, — пишет Прибрам, — попытайтесь идентифицировать её; в большинстве случаев это невозможно» [6]. Таким образом, интерпретация характера взаимодействия психического и физического в терминах корреляции столь же проблематична, как и их толкование в качестве тождественных. И даже если понятие корреляции будет рассмотрено до констатации простой связи между двумя элементами, мы не в состоянии будем установить — какова она.

Трудности данного подхода не ослабляют нашу веру в интуицию существования необходимой связи между психическим и физическим. В качестве гипотезы можно принять тезис о наличии у мозга свойств, не сводимых к физико-химическим процессам. Эта гипотеза о так называемой «встроенной программе».

Формообразующая функция мозга устанавливает связь между психическим и физиологическим. Вся проблема заключается в том, что их взаимосвязь может быть установлена посредст-

вом третьего звена — внешней действительности. То есть проблема сводится к вопросу о возможности физиологических и психических понятий быть референтами одной и той же реальности. В этой связи Нагель справедливо утверждает, что «наша неспособность предложить умопостигаемую концепцию отношения между духом и телом есть свидетельство неадекватности наших теперешних понятий» [5]. Однако положение не столь уж безнадёжно, хотя версия, которая предлагается, не претендует на решение этой проблемы. У М. Борна есть интересное замечание, которое в неявной форме касается и нашей проблемы: два объекта, порознь равные третьему, не обязательно должны быть равны между собой. Такая интерпретация равенства, конечно, нарушает принцип транзитивности. Но это нас не смущает, ибо мы уже отказались от идеи о необходимости установления логической связи между ними. И далее, после того как будет установлено, что физическая реальность в одном и том же отношении может одновременно быть описана в терминах физиологических и психических, мы можем говорить об отношении типа равенства, но ни в коем случае не тождества. «Почему эти различные способы описания никогда не противоречат друг другу? — вопрошает М. Борн. — Бор высказал идею, что это — другой случай дополнительности, такой же, как и дополнительность между частицами и волнами в физике» [1, с. 99].

Можно провести и другую аналогию с физической наукой. Для описания квантово-механических процессов пришлось ввести целую систему понятий, которая противоречила интуиции классической рациональности и «здравому смыслу». «Новые смыслы» требуют новой интерпретации понятий, конституирующих культурное пространство нашей эпохи.

Многим физикам представлялось, что принцип дополнительности получит широкое применение и в других областях научного знания. Почему их прогнозам не суждено было сбыться? В значительной мере это объясняется тем обстоятельством, что большая часть научного сообщества демонстрирует свою приверженность классическим идеалам и стандартам научности, пытаясь представить традиционные стандарты рационализма как универсальные и «вечные». Развитие науки демонстрирует, что вся классическая наука не дала и не могла дать окончательных и непогрешимых решений, стоящих перед ней. Но сами термины «новый рационализм» и «мягкий рационализм» свидетельствуют о том, что в современной культуре сохраняется сильная зависимость от классических идеалов научности.

Введение в познавательную деятельность новых объяснительных и описательных стандартов — непреложный факт. И если философия будет руководствоваться только ресурсами классической рациональности, можно с уверенностью сказать, что её успехи в решении насущных теоретических проблем будут сомнительными.

Заключение. Подводя итог анализу эволюционной эпистемологии и следствий, вытекающих из её концептуальных оснований, можно заключить, что она оставила открытой проблему характера взаимодействия психического и физического. В ней нет однозначных, убеждающих аргументов, что сознание копирует мир. Принцип соответствия, выступая в качестве метафизической догмы, порождает неразрешимые трудности в эпистемологии и делает скептицизм неизбежным. Но мы вправе отвергнуть и альтернативный тезис идеализма о конституирующей роли сознания. После критики аналитической философией априоризма Канта она практически перестала рассматриваться в качестве концептуального каркаса в эпистемологии. Приговор априоризму Канта вынесла неклассическая наука, — неевклидова геометрия и неклассическая физика.

Уже никого не удивляет, что такие фундаментальные понятия, как «рациональность», «истина», «знание», подвергаются ревизии. Мы осознаём, что наши представления рациональности столь же подвержены влиянию культуры, как и другие сферы человеческой деятельности. Не вызывает возражений утверждение, что идеалы и стандарты рациональности являются продуктами своей исторической эпохи.

Потрясение, вызванное утратой убедительности аргументов в защиту рациональности, можно в какой-то мере сравнить с утратой веры в Бога. Но если второе обстоятельство получило пронзительно эмоциональное отражение в modus vivendi, обретя утешение в безграничном доверии разуму, науке, то необоснованность претензии рационализма на обладание универсальным и достоверным знанием стала темой иронии, широко представленной в постмодернизме.

Библиографический список

1. Борн, М. Физика в жизни моего поколения: сб. ст. / М. Борн; под общ. ред. и с послесл. С. Г. Суворова. — Москва: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. — 536 с.

2. Витгенштейн, Л. Философские работы. Часть I / Л. Витгенштейн; составл., вступ. ст., примеч. М. С. Козловой; перевод с нем. М. С. Козловой, Ю. А. Асеева. — Москва: Гнозис, 1994. — 612 с. — ISBN 5-7333-0485-6.

3. Лоренц, К. Оборотная сторона зеркала. Опыт естественной истории человеческого познания / К. Лоренц. — Москва: Республика, 1998. — 493 с.

4. Микешина, Л. А. Философия познания. Полемические главы / Л. А. Микешина. — Москва: Прогресс-Традиция, 2002. — 624 с. — ISBN 5-89826-108-7.

5. Нагель, Т. Мыслимость невозможного и проблема духа и тела / Т. Нагель // Вопросы философии. — 2001. — № 8. — С. 101—112.

6. Прибрам, К. Языки мозга / К. Прибрам. — Москва: Прогресс, 1975. — 464 с.

7. Вольф, Р. П. О философии: учебник / Роберт П. Вольф; пер. с англ. под ред. В. А. Лекторского, Т. А. Алексеевой. — Москва: Аспект Пресс, 1996. — 416 с. — ISBN 5-7567-0118-4.

8. Фоллмер, Г. Эволюционная теория познания: врождённые структуры познания в контексте биологии, психологии, лингвистики, философии и теории науки / Г. Фоллмер; пер. с нем. и общ. ред.: А. В. Кезин. — Москва, 1998. — 195 с.

9. Холтон, Дж. Тематический анализ науки / Дж. Холтон. — Москва: Прогресс, 1981. — 383 с.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

References

1. Born, M. Fizika v zhizni moego pokoleniya: sb. st. / M. Born; pod obshh. red. i s poslesl. S. G. Suvorova. — Moskva: Izd-vo inostr. lit-ry`, 1963. — 536 s. — In Russian.

2. Vitgenshtejn, L. Filosofskie raboty`. Chast` I / L. Vitgenshtejn; sostavl., vstup. st., primech. M. S. Kozlovoj; perevod s nem. M. S. Kozlovoj, Yu. A. Aseeva. — Moskva: Gnozis, 1994. — 612 s. — ISBN 5-7333-0485-6. — In Russian.

3. Lorencz, K. Oborotnaya storona zerkala. Opy`t estestvennoj istorii chelovecheskogo poznaniya / K. Lorencz. — Moskva: Respublika, 1998. — 493 s. — In Russian.

4. Mikeshina, L. A. Filosofiya poznaniya. Polemicheskie glavy` / L. A. Mikeshina. — Moskva: Progress-Tradiciya, 2002. — 624 s. — ISBN 5-89826-108-7. — In Russian.

5. Nagel`, T. My`slimost` nevozmozhnogo i problema duxa i tela / T. Nagel` // Voprosy` filosofii. — 2001. — # 8. — S. 101—112. — In Russian.

6. Pribram, K. Yazy`ki mozga / K. Pribram. — Moskva: Progress, 1975. — 464 s. — In Russian.

7. Vol`f, R. P. O filosofii: uchebnik / Robert P. Vol`f; per. s angl. pod red. V. A. Lektorskogo, T. A. Alekseevoj. — Moskva: Aspekt Press, 1996. — 416 s. — ISBN 5-7567-0118-4. — In Russian.

8. Follmer, G. E`volyucionnaya teoriya poznaniya: vrozhdyonny`e struktury` poznaniya v kontekste biologii, psixologii, lingvistiki, filosofii i teorii nauki / G. Follmer; per. s nem. i obshh. red.: A. V. Kezin. — Moskva, 1998. — 195 s. — In Russian.

9. Xolton, Dzh. Tematicheskij analiz nauki / Dzh. Xolton. — Moskva: Progress, 1981. — 383 s. — In Russian.

ON SOME ANTINOMY OF EVOLUTIONARY EPISTEMOLOGY CONCEPT

A. B. Tazayan, A. Y. Astvatsaturov
(Don State Technical University)

Some prerequisites of evolutionary epistemology are considered. Its conceptual flaws are revealed. Some possible approaches to overcoming them are suggested.
Keywords: *evolutionary epistemology, hypothetical realism, fallibility, critical rationalism, falsificationism, cumulation, instrumentalism, psychic, physical, physiological, principle of complementarity.*

УДК 115

Индивидуализация времени социального субъекта в современном обществе и культуре

Л. А. Штомпель
(Институт архитектуры и искусств Южного федерального университета)

Проанализирован процесс индивидуализации времени как частного случая темпоральной организации жизнедеятельности социального субъекта современного общества и культуры. Показано, что продуктивная индивидуализация времени ограничивается скрытым воздействием объективных социальных структур через навязывание готовых схем отношения ко времени и нарушением коллективных ритмов жизнедеятельности.
Ключевые слова: *время, индивидуализация, темпоральная организация, управление временем.*

Введение. Современное общество, в отличие от традиционного, открывает перед человеком возможность самостоятельно выстраивать стратегию своей жизни. Эта возможность детерминируется востребованностью в условиях рыночной экономики таких качеств, как, с одной стороны, инициативность, смелость, оригинальность, а с другой — дисциплинированность, организованность, обязательность, чёткость. Сочетание названных качеств актуализирует тему темпоральной организации жизни и общества, и отдельного человека — вообще любого субъекта, разворачивающего свою социальную активность. Определение границ индивидуализации времени как частного случая темпоральной организации жизнедеятельности социального субъекта современного общества и культуры является задачей данной статьи.

Основная часть. Одним из важнейших параметров, характеризующих жизненную стратегию личности, является время. Необходимо отметить, что время выступает регулятором, организатором человеческой жизни на всех уровнях её осуществления: на уровне общества в целом (посредством календарных систем, доминирующих ориентаций на тот или иной модус времени, объективно заданной продолжительности занятий тем или иным видом деятельности, скорости происходящих перемен, ритмики социальной жизни, направленности изменений — всего того, что можно назвать коллективной организацией жизни с помощью времени), на уровне отдельных социальных групп и на уровне личности (прежде всего, посредством сознательной организации ею собственной жизнедеятельности в темпоральном аспекте). С одной стороны, субъект любого уровня вынужден сообразовывать длительности, продолжительности своих разнообразных видов деятельности (и отношения между этими длительностями) со внешними, объективно заданными темпоральными структурами (например, со временем суток, расписанием и т. п.). С другой стороны, он постоянно осуществляет выбор в пользу того или иного занятия и определяет продолжительность его осуществления. Это связано также с таким новым фактом, возникающим в постиндустриальном обществе, как процесс «развремения», когда ряд профессий и занятий позволили работникам «выпадать» из коллективных ритмов и более свободно планировать своё рабочее время в масштабе суток.

Немаловажным фактором, детерминирующим изменение отношения людей к коллективной организации времени, выступает необходимость ежедневных и еженедельных перемещений индивидов и групп. В современных мегаполисах время, затрачиваемое на передвижения, постоянно увеличивается: если до 1960-х гг. время, затрачиваемое на поездку к месту работы, соответствовало норме, то сегодня в отечественных мегаполисах оно составляет не оптимальные 30 минут, а около 60. Рост больших городов, не сопровождающийся соответствующим решением транспортной проблемы, приводит к тому, что «непродуктивное» время (не связанное ни с физическим, ни с духовным развитием человеческой личности, ни с её трудовым вкладом) увеличива-

ется, что ведёт к изнашиванию человеческого организма и, в конечном счёте, к сокращению продолжительности жизни. Это вызывает к жизни потребность к усилению автономности существования, индивидуализации жизненной стратегии.

Действительно, время конкретного социального субъекта (группы или отдельного индивида) встроено во время общества в целом, а также в темпоральные особенности той организации, внутри которой или от лица которой он действует. Например, в бюрократических организациях время жёстко распределяется: создаются нормативы, которые предписывают затраты определённого количества времени для определённых занятий. Такого рода отношение ко времени как к субстанции, которую можно разделить на части, характерно для периода перехода от традиционного уклада к индустриальному обществу. Однако при переходе к постиндустриальному обществу рождается иное отношение ко времени. Это новое отношение определяется зависимостью конкретной организации не только от суммы знаний, умений и навыков её членов (наличие которых является сегодня необходимым, но не достаточным условием), но и от их творческого потенциала, который предполагает, помимо прочих многих моментов, и «свободное» отношение со временем. «Свободное» — не в смысле отлынивания от работы, а в значении возможности самому работнику планировать и распределять, а в идеале — создавать своё время.

Необходимость подобного отношения ко времени диктуется распространением новых технологий и демократизацией условий жизни, которые влекут за собой децентрализацию и демассификацию производительной деятельности, требуют работников, обладающих высокой степенью самостоятельности. Неслучайно наиболее успешные корпорации, способные быстро реагировать на изменяющиеся потребности рынка, включают в свою децентрализованную систему управления такой элемент, как «гибкость».

Это новое, «свободное», отношение ко времени на уровне личности сочетается с необходимостью сообразовывать темпоральную организацию своей жизни с объективно заданными темпоральными характеристиками: суточными и сезонными ритмами, расписанием работы (начало и конец рабочего дня, продолжительность занятий отдельными видами работ и их ритмичностью, частотой и интенсивностью повышения квалификации и т. п.). Однако индивидуализация времени выступает ведущей тенденцией современного отношения социального субъекта ко времени. Под индивидуализацией времени мы понимаем возрастание вариативности выбора конкретных видов занятий и времени, отводимых для них, в современном обществе.

В результате перехода общества в постиндустриальную фазу развития перед личностью открываются всё более широкие возможности самостоятельного определения последовательности и продолжительности разнообразных занятий и видов деятельности в «рабочее» и в «свободное» время, в профессиональной и во внепрофессиональной сферах, составляющих видимую канву жизни человека. Кроме того, и в духовном мире личности происходят изменения отношения ко времени: увеличивается разнообразие ориентаций на различные модусы времени, содержательно обогащается свободное время и т. д. Можно предположить, что общество тем более индивидуализируется, чем более вариативным становится выбор не только конкретных видов занятий и деятельности, но и времени, отводимых для них.

Проблема вариативности времени многоаспектна, материалом для её решения могут выступить исследования времени в психологии, социологии, философии и культурологии. Так, социологи обращают внимание прежде всего на изменения в бюджетах времени различных групп населения, на региональные различия в использовании совокупного фонда времени, философы определяют качественную специфику социального времени, культурологи исследуют время как форму культурно-исторического бытия, психологи изучают психологические особенности восприятия времени и процесс индивидуализации жизни в целом. Сегодня выделяются такие ключевые характеристики индивидуальности, как ориентация на творческую самореализацию, конструиро-

вание своей уникальности и неповторимости, автономность, создание индивидуальной системы ценностей, экзистенциальное ощущение собственного Я и т. д.

Исходя из такого понимания индивидуальности, можно заключить, что индивидуализация времени состоит в выстраивании такого образа и стиля жизни, который обеспечивает, подкрепляет и выражает стремление к индивидуализации жизни в целом, в частности к автономности. И если В. И. Ленин в начале XX в. писал, что жить в обществе и быть свободным от общества нельзя, то с середины XX в. всё сильнее и отчётливее нарастало стремление от этой зависимости избавиться. Оставшись наедине с собой, человек вынужден заглянуть «в себя», т. е. проанализировать собственный жизненный опыт, превращая его тем самым в опыт духовный. Наличие этого опыта, обращение к нему, рефлексия над ним — вот что превращает человека в личность. Как писал Ф. Ницше: «Всегда один и один — это даёт со временем двух» [1, с. 40], — не в смысле шизофренической раздвоенности, а в смысле рефлексии над собственным жизненным опытом.

Какую же картину рисует для нас обращение к опыту темпоральной организации жизни современным человеком? Во-первых, эта картина является многомерной. Во-вторых, динамической. В-третьих, она противоречива. И главное противоречие — между стремлением к автономии и неизбежностью согласования собственных темпоральных особенностей с требованиями социума. Современный же социум вовсе не отказывается от навязывания коллективных ритмов жизни. Это проявляется, например, в переходе с «зимнего» на «летнее» время, в слиянии часовых поясов без учёта астрономических параметров.

Не менее важным фактором выступает конструируемая в культуре ориентация на тот или иной модус времени, акцент на одном в ущерб другому. Так, например, модус прошедшего времени может оцениваться по-разному: прошлое как прекрасное и прошлое как порочное; прошлое как то, что породило образцы, и как то, от чего следует самым радикальным образом избавиться. Таким же диаметрально противоположным может быть и отношение к будущему. Например, современная культура потребления через бренды молодёжной моды навязывает следующие схемы отношения ко времени: «Живи настоящим», «Дорогу молодым», «Старым быть стыдно», «Прошлые идеалы остались в прошлом» и т. д. Такие схемы разрывают «связь времён», вовлекая индивида в гонку за готовыми образцами и закрывая тем самым возможность для продуктивной индивидуализации времени.

Противоположное отношение ко времени формируется благодаря ориентации на предвосхищение будущего, исходя из анализа настоящего. В условиях современной конкуренции (в которой существуют практически все социальные организации) успех определяется, как известно, не столько следованием спросу, сколько его формированием. Такого рода установка на предвидение, на опережение, на будущее предполагает создание условий для мобилизации творческого потенциала работников любой организации.

В западных корпорациях с 60-х гг. формируется тайм-менеджмент, главный принцип которого — «никаких стереотипов», каждый работник должен иметь возможность выбрать наиболее оптимальный для него стиль управления временем и рабочей нагрузкой. Таким образом, индивидуализация времени предполагает согласование разных временных плоскостей: времени организации и личного времени. Второе непременное условие — дисциплина времени. Она не возникает сама по себе. В нашей стране после революции она вырабатывалась путём материального поощрения за «посещаемость» службы. На первый взгляд, это удивительно. Но не стоит забывать, что многие горожане в начале XX в. были ещё «полуселянами», время работы которых сообразовывалось с природными ритмами, поэтому дисциплина часового времени, ориентация «на циферблат» часов была для них внове. Например, в 1920 г. было издано следующее постановление [2]:

Медвеженское Уездное Бюро Профессиональных Союзов объявляет для сведения и руководства постановление Уполномоченного В.Ц.С.П.С. и Уполномоченного Наркомтруда НК о **премиях за посещаемость (аккуратная явка и оставление службы)** (*выделено авт.*).

§ 1. В целях поднятия трудовой дисциплины и производительности труда в предприятиях и учреждениях Кавказа одновременно с введением нового тарифа и впредь до окончательного установления норм выработки и полного перехода на сдельную и премиальную системы оплаты труда для рабочих и служащих всех производств советских учреждений Кавказа вводится премия за аккуратный выход на работу (посещаемость) по прилагаемой ниже схеме.

§ 2. Премия выплачивается за приход без опоздания на работу и отсутствие пропусков и при этом пропуском считается отсутствие на работе хотя бы и по уважительным причинам, за исключением отпусков по декрету.

§ 3. Премия за посещаемость устанавливается в размере 20 проц. тарифной ставки и выдаётся полностью лишь в случае соблюдения в течение месяца полной нормы выходов, т. е. 25 рабочих дней, понижение нормы выходов влечёт за собой и понижении премии.

§ 4. Основная премия за посещаемость выплачивается следующим образом:

Число проработанных дней в месяц	Премия в проц. отнош. тариф. ставки
25	20
24	15
23	10
22	5
21	0

<…>

§ 6. Сверхурочные часы в расчёт при вычислении пропусков не принимаются, т. е. увеличение числа рабочих дней сверхурочными часами не влияет на увеличение премии.

§ 7. Опоздание, пропуски, прогулы, оставление службы ранее установленного срока штрафуется по нижеследующей шкале:

а) явка на службу в течение 15 минут после установленного времени **не считается опозданием** (*выделено авт.*).

б) явка на службу от 15 до 30 минут после установленного срока или оставление службы ранее срока на 15—30 мин. считается пропуском четверти дня.

в) опоздание от 30—40 мин. и оставление срока службы раньше на то же время считается пропуском половины рабочего дня.

г) опоздание от 45 мин. до 1 часа и уход до срока на то же время считается пропуском одного рабочего дня.

д) каждый пропуск полного рабочего дня, помимо неуплаты заработка за него, — штрафуется в размере 10 проц. тарифной ставки.

§ 8. Штрафные вычеты производятся из причитающейся работнику за тот же месяц премии, но не из получаемого оклада.

§ 9. При пяти или большем количестве опозданий в месяц без уважительных причин данный работник лишается всей причитающейся ему премии и придаётся товарищескому дисциплинарному суду, как за нарушение трудовой дисциплины.

§ 10. За время, которое пропущено работником без уважительных причин, производится вычет из тарифной ставки на основании положения о трудовой дисциплине.

Уполномоченный Наркомтруда Р.С.Ф.С.Р. на Кавказе Стопани.
Уполномоченный В.Ц.С.П.С. на Кавказе Падэрин.
Зав. Тарифным отделом Кавбюро П.Ц.С.П.С.И. Резников.
20-го июля с.г. г. Пятигорск

К сожалению, дисциплина труда, особенно её темпоральная составляющая, разваливается, если администрация попустительствует опозданиям и произвольным «оставлениям службы».

Следующий момент, на который хотелось бы обратить внимание, связан с необходимостью воспитания умения продуктивной организации собственного личного времени. В индивиду-

альной жизни мы всё чаще сталкиваемся с нехваткой времени, связанной с неумением распределять собственное время. Соответственно, предлагаются разные стратегии управления личным временем. Так, профессор социальной антропологии университета Осло Т. Х. Эриксен предлагает несколько способов подчинения себе бега времени: «Я отвечаю только на электронную почту каждый понедельник до полудня; во вторник вечером я занят: уезжаю на рыбалку; ежедневно я проезжаю десять миль на работу и с работы. Сижу в машине один, мобильник и радиола выключены; по четвергам и понедельникам я читаю журналы вместо газет; у меня нет автоответчика. Если меня нет дома, то меня действительно нет. Прошу уважать! Прежде чем познакомиться с новостями WAP, я всегда читаю какое-нибудь стихотворение; после работы каждый день с половины пятого до половины девятого я провожу время с семьёй, следовательно, недоступен для всех остальных; раз в две недели по средам я хожу в концертный зал, чтобы послушать что-нибудь вроде 7-й симфонии Малера, при этом я полностью сосредоточиваюсь и ни на что не отвлекаюсь; если хочу, я живу моментом, но не даю следующему наступающему моменту меня прерывать» [3, с. 187—188]. Как видим, Т. Х. Эриксен составил расписание своего «свободного времени», выработал определённые принципы организации времени и подчиняется им. Возможно, такие рецепты подойдут не всем, однако симптоматично, что рефлексия по поводу времени становится всё более настоятельной.

Подчеркнём, что измерение длительности различных видов деятельности и занятий, отношение к этим длительностям чрезвычайно важны, однако жизнь человека слагается не из одинаковых «кирпичиков» и не из одинаковых «моментов», а, напротив, наполнена неравноценными событиями и действиями, неравнозначными намерениями и ожиданиями, которые нельзя измерить ни линейкой, ни часами. Эта неравнозначность предполагает, что человек способен выбирать между разными возможностями и, соответственно, отвечать за свой выбор.

Само по себе наличие разнообразных вариантов выбора не гарантирует развития ни общества, ни личности. Индивидуализация — это условие развития и цель, понятая как развитие. Развитие может иметь место там, где выбор из множества возможностей определяется соотнесением со смыслами культуры, с системой ценностей и значений, составляющих этот смысл.

Социальный субъект и, в частности, личность — не статичное образование: он способен изменяться в процессе осознания Смысла существования. Следовательно, не сама по себе автономия, а до-страивание, до-растание, воз-растание до Смысла существования — вот на что следует ориентироваться в процессе темпоральной организации жизни. Другими словами, индивидуализация, сводящаяся только к автономности, сама по себе не гарантирует ни креативности, ни самореализации — такая индивидуализация непродуктивна. И напротив, индивидуализация, имеющая целью творческую самореализацию (прежде всего через обретение и реализацию Смысла существования), — продуктивна.

Нам уже приходилось в предыдущих работах (см. [4]) обращать внимание на связь времени со Смыслом, на приписывание различным моментам времени определённых значений, что превращает эти моменты в неравнозначные. Жизнь людей, не находящих смысла жизни, сопровождается скептицизмом, отчаянием и разочарованием. Определение того, ради чего стоит жить и без чего жить не стоит, — важнейшая задача для каждого мыслящего человека. Где находится смысл жизни? Он должен находиться в каждой отдельной жизни и в то же время не может находиться на уровне повседневных забот людей о своём существовании. Общепризнано, что повседневные заботы (утоление голода и жажды, защита от холода, стремление отдохнуть после труда, удовлетворение стремления к другому полу, сохранение здоровья, успехи и признание на работе и т. п.) наполнены смыслом: этот смысл заключается в достижении этих повседневных целей. Но почему же достижение этих целей повседневного бытия не освобождает от дальнейших поисков смысла жизни? Почему на пороге смерти люди пытаются найти высший смысл жизни?

Что заставляет людей приносить себя в жертву? Уж никак не повседневные нужды. Философы разных направлений по-разному называют ту область, в которой заключён этот более высокий смысл человеческого существования: надличное бытие (А. Швейцер считал, что конечной причиной упадка римского государства явилось отсутствие мировоззрения, которое показало бы смысл бытия, выходящего за рамки индивидуальных целей), бессмертие человека (религиозные философы утверждают: смысл земной жизни состоит в подготовке ко вступлению в вечную жизнь), самореализация человека и т. д.

Во всех ответах содержится один план, который не всегда принимается во внимание: временной и надвременной. Если у религиозных философов та жизнь, подготовка к которой является смыслом земной жизни, явно лежит «вне времени» (вне повседневного времени земного существования), то у мыслителей других и самых разных направлений (но признающих наличие смысла жизни) неявно тоже берётся в расчёт особая плоскость бытия — область духовных ценностей, т. е. область трансцендентного. Приобщение к трансцендентному (понимаемому нами как область наличия высших духовных ценностей, возвышающаяся над миром повседневного существования) происходит в предельных жизненных ситуациях. Именно тогда человек или возвышается до переживания света трансцендентных ценностей, или низвергается в «ад» недостижимости их. Тогда, когда человеческая жизнь направлена на реализацию определённых моральных ценностей, она подчиняется идеалам героизма, аскетизма, чести и достоинства. Всё, чем обладает человек в жизни — любовью, привязанностями, страстями, надеждами, — создаётся им благодаря возвышению над повседневным, банальным, усреднённым. Реализация способности любить, творить, сострадать, принимать участие в тех людях и событиях, которые втянуты в орбиту нашей жизни, составляют смысл человеческой жизни. Только понимание этого поможет преодолеть непродуктивную индивидуализацию времени и превратить время в действительное пространство для развития личности.

Выводы. Границы индивидуализации времени определяются объективно заданными ограничениями (пределами, устанавливаемыми физической конституцией человека, социальными нормами и культурными образцами), которые в современном обществе, казалось бы, всё более размываются. Однако объективные социальные структуры продолжают оказывать не только явное, но и скрытое воздействие на поведение людей. Предлагаемые современным обществом потребления и массовой культурой схемы разрывают «связь времён», вовлекая индивида в гонку за готовыми образцами и закрывая тем самым возможность для продуктивной индивидуализации времени.

Библиографический список

1. Ницше, Ф. Сочинения. В 2 томах. Том 2 / Ф. Ницше; сост., ред. и авт. примеч. К. А. Свасьян. — Москва: Мысль, 1990. — 829, [1] с.

2. ГАРО. Ф. Р-3132. Оп. 1. — Д. 2. — Л. 170. — 27 октября 1920 г. Дисциплина труда.

3. Эриксен, Т. Х. Тирания момента. Время в эпоху информации / Т. Х. Эриксен. — Москва: Весь мир, 2003. — 208 с.

4. Штомпель, Л. А. Лики времени / Л. А. Штомпель; Рост. гос. строит. ун-т. — Ростов-на-Дону; Санкт-Петербург: Компьютериконъ-АРИТА, 1997. — 200 с.

5. Штомпель, Л. А. «Управление временем»: в поисках смысла жизни / Л. А. Штомпель, М. В. Лихушина // Время и человек (Человек в пространстве концептуальных времён): сб. науч. тр. / под науч. ред. В. С. Чуракова. — Новочеркасск: НОК, 2008. — 316 с. — (Библиотека времени. Вып. 5). — ISBN 978-5-93834-322-1. — С. 132—137.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

References

1. Nicshe, F. Sochineniya. V 2 tomax. Tom 2 / F. Nicshe; sost., red. i avt. primech. K. A. Svas`yan. — Moskva: My`sl`, 1990. — 829, [1] s. — In Russian.

2. GARO. F. R-3132. Op. 1. — D. 2. — L. 170. — 27 oktyabrya 1920 g. Disciplina truda. — In Russian.

3. E`riksen, T. X. Tiraniya momenta. Vremya v e`poxu informacii / T. X. E`riksen. — Moskva: Ves` mir, 2003. — 208 s. — In Russian.

4. Shtompel`, L. A. Liki vremeni / L. A. Shtompel`; Rost. gos. stroit. un-t. — Rostov-na-Donu; Sankt-Peterburg: Komp`yuterikon``-ARITA, 1997. — 200 s. — In Russian.

5. Shtompel`, L. A. «Upravlenie vremenem»: v poiskax smy`sla zhizni / L. A. Shtompel`, M. V. Lixushina // Vremya i chelovek (Chelovek v prostranstve konceptual`ny`x vremyon): sb. nauch. tr. / pod nauch. red. V. S. Churakova. — Novocherkassk: NOK, 2008. — 316 s. — (Biblioteka vremeni. Vy`p. 5). — ISBN 978-5-93834-322-1. — S. 132—137. — In Russian.

INDIVIDUALIZATION OF SOCIAL AGENT'S TIME IN MODERN SOCIETY AND CULTURE

L. A. Shtompel
(Institute of Architecture and Arts, Southern Federal University)

The process of the individualization of time as a special case of the temporal organization of the social agent's life activity in the modern society and culture is analyzed. It is shown that the productive indivi-dualization of time is restricted to the latent impact of the objective social structures through imposing ready-made relation schemes to time and disturbing the collective rhythms of life activity.
Keywords: *time, individualization, temporal organization, time management.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 330.44

Итерационно-вероятностный метод решения линейного уравнения межотраслевого баланса

В. С. Стрельченко
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Изложен новый метод решения систем линейных алгебраических уравнений, основанный на применении теории меры в вероятностном пространстве; показана возможность его применения для решения уравнения линейного межотраслевого баланса.
Ключевые слова: *система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), уравнение линейного межотраслевого баланса, модель Леонтьева, плотность вероятностной меры.*

Введение. Задача оптимального планирования является одной из фундаментальных задач современной экономики. Производственные ресурсы могут сочетаться различными способами и обеспечивать при этом одинаковое количество выпускаемой продукции. Например, можно производить одно и то же количество продукции при больших финансовых затратах, но малых трудозатратах. Либо, наоборот, делать малые капиталовложения при больших затратах труда. Суть оптимального планирования состоит в выборе наиболее рационального способа производства продукции, который будет направлен на минимизацию затрат и максимизацию прибыли.

Одним из способов планирования производства является модель многоотраслевой экономики Леонтьева, а точнее, уравнение межотраслевого баланса. С его помощью удобно планировать валовой выпуск продукции для какого-либо периода времени по заданному вектору конечного потребления. Уравнение межотраслевого баланса представляет собой систему линейных алгебраических уравнений и решается такими методами, как метод Гаусса, Жордана — Гаусса, Крамера, Якоби, матричный и итерационный методы и др., каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Целью данного исследования является разработка нового стохастического метода решения уравнения межотраслевого баланса, основанного на использовании теории меры в вероятностном пространстве и метода простых итераций.

Суть модели Леонтьева и методы решения уравнения межотраслевого баланса. Модель Леонтьева используется для расчёта связи между отраслями через выпуск и потребление продукции разного вида [1]. На первом этапе строятся уравнения, описывающие балансовые соотношения между отраслями (1). Балансовый принцип связи различных отраслей промышленности состоит в том, что валовой выпуск i-й отрасли должен быть равным сумме объёмов потребления в производственной и непроизводственной сферах. В самой простой форме балансовые соотношения имеют вид:

$$x_i = x_{i1} + x_{i2} + ... + x_{in} + y_i;\ i = 1, 2, ..., n, \qquad (1)$$

где x_i — валовой выпуск i-й отрасли; x_{ij} — объём продукции i-й отрасли, потребляемый j-й отраслью при производстве объёма продукции x_j; y_i — объём продукции i-й отрасли, предназначен-

ный для реализации (потребления) в непроизводственной сфере, или так называемый продукт конечного потребления.

В соотношениях баланса принято рассматривать стоимостный баланс, поскольку продукция различных отраслей имеет разные измерения.

На основе анализа экономики США В. В. Леонтьевым был установлен факт, что в течение длительного времени соотношения $\frac{x_{ij}}{x_j}$ очень слабо меняются и могут рассматриваться как постоянные величины.

В силу указанного факта можно сделать следующее допущение: для производства продукции j-й отрасли объёма x_j нужно использовать продукцию i-й отрасли объёма $a_{ij}x_i$, где $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$ — постоянное число. При таком допущении технология производства принимается линейной, а само допущение называется гипотезой линейности. При этом числа a_{ij} называются коэффициентами прямых затрат. Согласно гипотезе линейности имеем:

$$x_{ij} = a_{ij} x_j\,;\; i = 1, 2, \ldots, n. \tag{2}$$

Тогда уравнения балансовых соотношений можно записать в матричной форме:

$$\overline{x} = A\overline{x} + \overline{y}\,, \tag{3}$$

где

$$\overline{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_n \end{pmatrix},\; \overline{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \ldots \\ y_n \end{pmatrix},\; A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{pmatrix}. \tag{4}$$

Описание матричного представления (4) и уравнение (3), собственно, и представляют собой модель Леонтьева. А уравнение (3) носит название уравнения линейного межотраслевого баланса.

Для его решения используются традиционные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), такие как матричный метод, метод Гаусса, Жордана — Гаусса, Крамера, простых итераций и т. д. Они подробно изложены во многих источниках, в частности в [2, 3]. Авторами данной работы предлагается использовать для решения уравнения (3) новый метод, имеющий ряд достоинств по сравнению с ранее известными, как применительно к решению уравнения линейного межотраслевого баланса, так и к другим задачам, в которых решаются СЛАУ.

Применение стохастического метода решения СЛАУ к уравнению межотраслевого баланса. Рассмотрим линейное уравнение:

$$z(x) = C(x) + y\,, \tag{5}$$

где $x \in D(C)$ — искомый входной элемент; $z(x) \in F$ — выходной элемент; C — линейный оператор, в частности для конечномерного пространства, C — матрица $n \times n$ элементов; $y \in F$ — вектор правых частей.

Линейный оператор C определён на линейном многообразии $D(C)$ банахова пространства E и отображает его в некое банахово пространство F.

Множество $D(C)$ — область определения оператора C. Совокупность всех $z \in F$, для которых уравнение (5) разрешимо, является областью значений оператора C.

В уравнении (5) мы сталкиваемся с отображением, которое в конечномерном пространстве сужается до векторной функции случайных аргументов. Необходимо определить вероятностные

характеристики векторной случайной величины *Z* по заданным вероятностным характеристикам векторной случайной величины *X*, связанной с величиной *Z* функциональной зависимостью $Z=\varphi(X)$.

Для того чтобы полностью охарактеризовать случайную величину, необходимо задать множество её возможных значений и дать способ определения и сравнения между собой вероятностей этих значений. Такая характеристика случайной величины называется её законом распределения.

Наиболее общей формой закона распределения случайной величины является её функция распределения [4]. Она имеет вид:

$$F(x_0,x_1,...,x_n)=P\left((X_0<x_0)(X_1<x_1)...(X_n<x_n)\right).$$

Функция $F(x)$ является вероятностной мерой.

Если *Z* — функция векторного случайного аргумента, то её функция распределения имеет вид:

$$F_z(z)=P(Z<z)=P\left(\varphi(X)<z\right)=\int\limits_{\varphi(x_0)<z_0}...\int\limits_{\varphi(x_n)<z_n} f(x_0,x_1,...,x_n)dx_0dx_1...dx_n, \quad (6)$$

где интеграл является *n*-кратным и распространён на все области, для которых выполнено неравенство, написанное под знаком интеграла.

В частном случае, когда функция φ монотонна в области возможных значений случайной величины *X*, существует только одна область, в которой выполнимо неравенство под знаком интеграла (6). В этом случае интеграл заменой переменных приведётся к виду:

$$F_z(z)=\int\limits_{-\infty}^{z_0}...\int\limits_{-\infty}^{z_n} f\left(\psi(\eta_0),\psi(\eta_1),...,\psi(\eta_n)\right)\cdot|I|d\eta_0d\eta_1...d\eta_n, \quad (7)$$

где $\eta=\varphi(x)$; $x=\psi(\eta)$; I — матрица Якоби вида $I=\left|\frac{D\psi(\eta)}{D\eta}\right|=\left|\frac{Dx}{Dz}\right|$.

Если матрица Якоби не обращается в ноль в области возможных значений, то существует обратное отображение, причём $\frac{Dx}{Dz}=\left(\frac{Dz}{Dx}\right)^{-1}$.

Дифференцируя (7), получим формулу, характеризующую закон сохранения меры для плотности вероятности векторной случайной величины *Z*:

$$f_z(z)=f\left(\psi(z)\right)|I|. \quad (8)$$

В исследуемом авторами случае векторная величина *Z* является линейной функцией векторной случайной величины *X*, поэтому

$$z=\varphi(x)=Cx+y,\ x=\psi(z)=C^{-1}\cdot z-C^{-1}\cdot y. \quad (9)$$

Подставляя последнее выражение в (8), получим формулу для плотности вероятности линейной функции векторной случайной величины:

$$f_z(z)=f\left(C^{-1}\cdot z-C^{-1}\cdot y\right)|I|. \quad (10)$$

Эта формула показывает, что при линейном преобразовании векторной случайной величины кривая плотности вероятности не изменяет своего характера, а только смещается относительно начала координат.

Применим формулу (10) для решения уравнения (5).

Как было сказано выше, предлагаемый в статье подход использует метод итераций, поэтому необходимо обозначить начальную область изоляции корня D_0 и привести уравнение (5) к виду:

$$x = Ax + y \,, \qquad (11)$$

где $A = C + E$, E — единичная матрица.

Как видно, уравнение (11) представляет собой не что иное, как уравнение линейного межотраслевого баланса (3).

Для сходимости итерационного процесса достаточно, чтобы оператор A из уравнения (11) был сжимающим [5, 6], т. е. $\|A\| \le 1$.

Если оператор A не сжимающий, то его необходимо привести к сжимающему виду.

Каждое последующее приближение x будем находить по формуле

$$x_n = A \cdot x_{n-1} + y \,. \qquad (12)$$

Из (5) следует, что $z\left(x_{n-1}\right) = C \cdot x_{n-1} + y$, поэтому

$$x_n = A \cdot x_{n-1} + y = A^2 \cdot x_{n-2} + \left(A + E\right) \cdot y = A^3 \cdot x_{n-3} + \left(A^2 + A + E\right) \cdot y = \ldots$$

Таким образом, можно выразить приближение x на любой итерации через x_0 формулой

$$x_n = A^n \cdot x_0 + \left(A^{n-1} + A^{n-2} + \ldots + E\right) \cdot y \,. \qquad (13)$$

Обозначим $\left(A^{n-1} + A^{n-2} + \ldots + E\right) \cdot y = D$. Тогда

$$x_n = A^n \cdot x_0 + D \,, \; x_0 = A^{-n} \cdot \left(x_n - D\right). \qquad (14)$$

Подставим последнее уравнение в формулу (10):

$$f_{x_n}\left(x_n\right) = f_{x_0}\left(A^{-n} \cdot \left(x_n - D\right)\right) \cdot \left\| \frac{D\left\{A^{-n} \cdot \left(x_n - D\right)\right\}}{Dx_n} \right\| = f_{x_0}\left(A^{-n} \cdot \left(x_n - D\right)\right) \cdot \left\|A^{-n}\right\| , \qquad (15)$$

здесь внешние прямые скобки в определителе означают, что этот определитель берётся по абсолютной величине.

С учётом преобразований

$$f_{x_n}\left(x_n\right) = f_{x_0}\left(A^{-n} \cdot \left(x_n - A^{n-1} - A^{n-2} - \ldots - E\right) \cdot y\right) \cdot \left|A^{-n}\right| , \qquad (16)$$

где $f_{x_0}\left(A^{-n} \cdot \left(x_n - A^{n-1} - A^{n-2} - \ldots - E\right) \cdot y\right)$ — значение плотности вероятностной меры начального приближения x_0 в области изоляции корня D_0.

Область D_0 задаётся $2n$ точками, у каждой из которых n координат. Координаты точек области D на последующих итерациях определяются по формуле (12).

Область D сжимается к точке концентрации корня и вероятностная мера вырождается в этой точке в δ-функцию, если считать оператор и вектор правых частей не случайными. Каждое найденное по формуле (15) значение плотности вероятностной меры на i-й итерации имеет место в области D_i.

Из полученной в результате подстановки формулы (16) видно, что, задав начальное приближение и определив плотность его вероятностной меры, можно найти плотность вероятностной меры x на любом шаге.

Заключение. В работе изложен принципиально новый метод решения систем линейных алгебраических уравнений и рассмотрено его применение для решения уравнения линейного межотраслевого баланса.

Предложенный подход выгодно отличается от используемых ранее методов тем, что в анализе участвует достаточно широкая окрестность решения. Также неоспоримым преимуществом метода является отсутствие затруднений с выбором начальной точки.

Кроме того, предложенный алгоритм имеет более широкую область применения, чем ранее известные. В частности, он может быть использован в случае нечёткого задания линейного оператора или вектора правых частей.

Библиографический список

1. Красс, М. С. Основы математики и её приложения в экономическом образовании / М. С. Красс, Б. П. Чупрынов. — Москва: Дело, 2001. — 154 с.

2. Вержбицкий, В. М. Основы численных методов: учебник для вузов / В. М. Вержбицкий. — Москва: Высшая школа, 2002. — 840 с.

3. Ильин, В. А. Линейная алгебра: учебник для вузов / В. А. Ильин, Э. Г. Позняк. — Москва: Физматлит, 2004. — 280 с.

4. Пугачёв, В. С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачёв. — Москва: Физматлит, 1960. — 883 с.

5. Канторович, Л. В. Функциональный анализ / Л. В. Канторович, Г. П. Акилов. — Москва: Наука, 1984. — 752 с.

6. Бирман, Ш. М. Функциональный анализ / Ш. М. Бирман [и др.]; под ред. С. Г. Крейн. — Москва: Наука, 1972. — 544 с.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

References

1. Krass, M. S. Osnovy` matematiki i eyo prilozheniya v e`konomicheskom obrazovanii / M. S. Krass, B. P. Chupry`nov. — Moskva: Delo, 2001. — 154 s. — In Russian.

2. Verzhbiczkij, V. M. Osnovy` chislenny`x metodov: uchebnik dlya vuzov / V. M. Verzhbiczkij. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 2002. — 840 s. — In Russian.

3. Il`in, V. A. Linejnaya algebra: uchebnik dlya vuzov / V. A. Il`in, E`. G. Poznyak. — Moskva: Fizmatlit, 2004. — 280 s. — In Russian.

4. Pugachyov, V. S. Teoriya sluchajny`x funkcij i eyo primenenie k zadacham avtomaticheskogo upravleniya / V. S. Pugachyov. — Moskva: Fizmatlit, 1960. — 883 s. — In Russian.

5. Kantorovich, L. V. Funkcional`ny`j analiz / L. V. Kantorovich, G. P. Akilov. — Moskva: Nauka, 1984. — 752 s. — In Russian.

6. Birman, Sh. M. Funkcional`ny`j analiz / Sh. M. Birman [i dr.]; pod red. S. G. Krejn. — Moskva: Nauka, 1972. — 544 s. — In Russian.

ITERATIVE PROBABILISTIC SOLUTION METHOD OF INTERSECTORAL BALANCE LINEAR EQUATION

V. S. Strelchenko
(Rostov State Transport University),
I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The new solution method for the systems of linear algebraic equations based on the application of the measure theory in the probabilistic space is stated. The possibility of its application for the solution of the equation of linear intersectoral balance is shown.

Keywords: *system of linear algebraic equations, equation of linear intersectoral balance, Leontief model, probability measure density.*

УДК 338.46:658.6

Методы и средства организации производства на основе планирования коммуникационных процессов

Т. В. Симонян, Д. Б. Дащинский
(Донской государственный технический университет)

Методы организации производства представляют собой совокупность операций и приёмов при изготовлении продукции или оказания услуг. Выбор метода и средств организации производства — единичный, партионный или патогенный — обусловлен прежде всего масштабами производства. Формирование производственной программы, оптимизация размеров партий и заделов зависят от объёма заказов потребителей и детерминированы эффективностью диагностики. Процессы организации производства получают завершение в планировании (в том числе коммуникационном), формируя замкнутую модель всех производственных процессов предприятия.
Ключевые слова: *методы организации производства, средства организации производства, планирование, коммуникационные процессы.*

Введение. Процесс планирования процессов в промышленности и сфере услуг можно представить как процесс, на входе которого находятся данные о предприятии и рынке, а на выходе — решения о выборе методов и средств организации производства в условиях усиления конкуренции. Соответственно в методологии данного процесса имеет смысл выделять две части: 1) сбор и обработка данных и 2) принятие управленческих решений. Сбор и обработка данных специфичны для каждого предприятия: они зависят от типа предприятия, его технологических возможностей, т.е. от методов и средств организации производства.

В противоположность этому методология принятия решений аналогична для всех предприятий, работающих в условиях рынка. Например, общая методология указывает, что для принятия организационных решений необходимо сегментировать рынок. Однако при этом никак не конкретизируется, использовать при сегментации статистические методы или интуицию, использовать в качестве сегментационных переменных демографические, профессиональные или какие-либо другие переменные, применять для сегментации имеющуюся базу клиентов или проводить полевые исследования. Все эти вопросы решает каждое предприятие для себя в зависимости от специфических условий деятельности.

Процесс планирования коммуникационных процедур в рамках промышленного предприятия. Этот процесс диктует необходимость устранения некоторых ошибок:

1. При создании коммуникационных служб неудачно выбирали организационный принцип их построения: вне зависимости от специфики предприятия и его рынков он чаще всего функциональный.

2. Кадровое обеспечение маркетинговых отделов и отделов взаимоотношений с клиентами велось по принципу перевода в них инженерных кадров, сокращаемых в других подразделениях.

3. Регламенты деятельности данных отделов до сих пор включают неполный перечень обязательных составляющих; дело ограничивается положением об отделе. В результате неочевидным остается распределение обязанностей между работниками, правовые и информационные взаимоотношения отдела с другими подразделениями. Как правило, не оговаривается и особый статус отдела — иметь право вето на деятельность других служб, если таковая противоречит потребительским установкам.

4. Не регламентирован полный перечень функциональных обязанностей работников отделов. В итоге создается акцент на сбытовых и продвигающих усилиях, что противоречит самой сути эффективной организации производства в условиях финансовых рисков.

5. Финансирование деятельности проводится без учета результатов деятельности службы и объема выполняемых работ. Результативность определяется далеко не на каждом предприятии ввиду запаздывания результата по отношению ко времени принятия решений и отсутствия планирования и учета отдельных коммуникационных процессов.

В данном случае названы лишь организационные причины недостатков в коммуникационной деятельности, которые порождают и методические проблемы.

В целях совершенствования методов и средств организации производства предприятий, их рыночной ориентированности, получения возможностей привлечения инвестиций необходимо оценивать уровень коммуникационных процессов, целенаправленно и своевременно управлять ими [1].

Представляется, что оценка процессов может производиться на основе использования двух принципиально разных подходов к сбору данных — опроса менеджеров и независимой экспертизы состояния процесса. Первый способ требует меньших затрат времени и более применим для получения информации менеджерами с целью дальнейшего управления производством. Второй более сложен, он требует больше времени, поскольку связан с аудитом процессов предприятия. Это по силам профессиональным независимым консалтинговым фирмам, информацией от которых могут воспользоваться все заинтересованные в ней лица. Таким образом, к информации о коммуникационных процессах предъявляется такой же подход, как и. например, к финансовой отчетности, которой будут доверять внешние пользователи после проверки ее достоверности.

Процесс коммуникационного планирования представлен на рис. 1

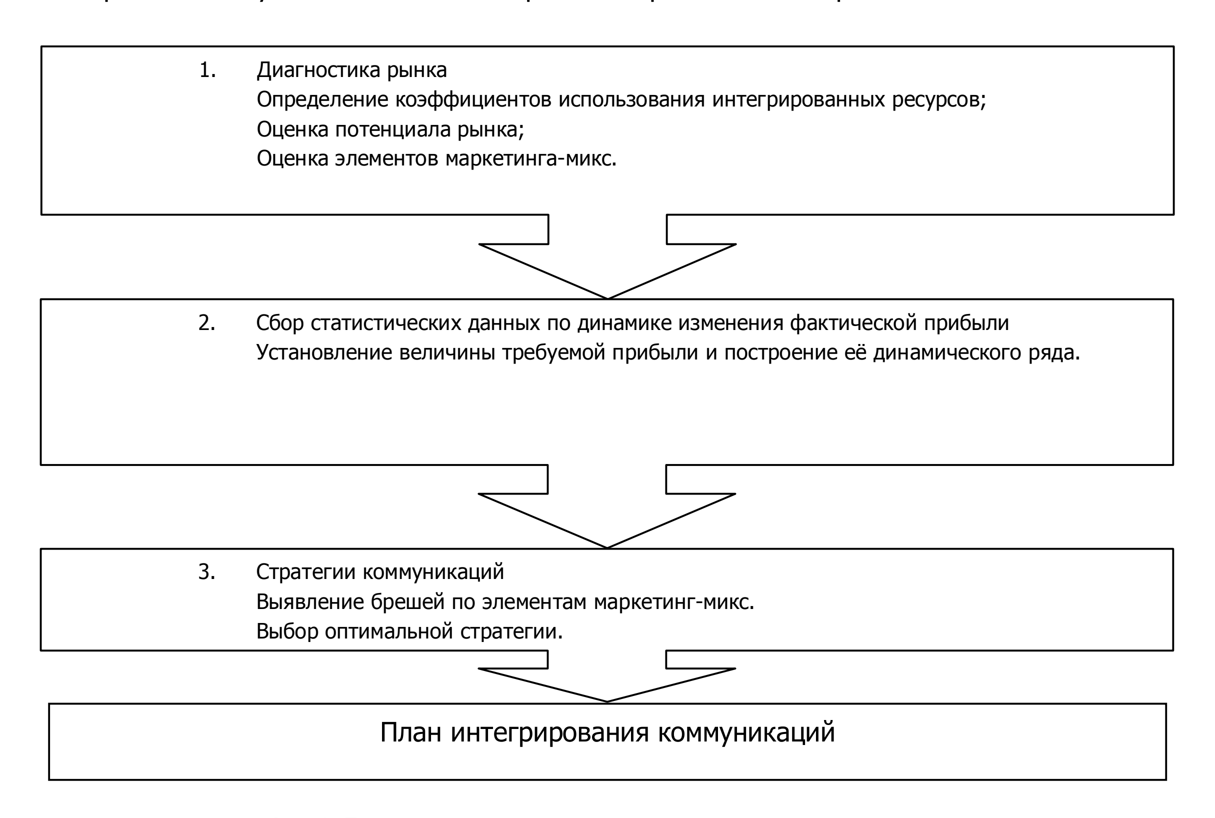


Рис. 1. Процесс коммуникационного планирования на предприятии

Диагностика представляет собой процесс, позволяющий дать комплексную оценку положения предприятия и его продукции на рынке. Этот этап разработки программы является одним из наиболее дорогостоящих, так как связан с трудоемкими исследованиями внешней и внутренней среды предприятия. Самыми трудоемкими видами исследований являются исследования рынка.

Состав и последовательность работ промышленного предприятия по диагностике можно представить в следующем виде [2]:

– исследование и анализ рынка;

– анализ непосредственного микроокружения предприятия;

– сбор внутренней информации о результатах деятельности предприятия.

В рамках данных работ предприятие должно выполнить всесторонние кабинетные и полевые исследования рынка и микросреды (см. табл. 1).

Таблица 1

Содержание информации необходимой для диагностики микросреды процесса

Информация	**Показатели**
1. Количественные данные о рынке	▪ ёмкость рынка ▪ динамика роста рынка ▪ доля рынка ▪ стабильность спроса ▪ курсы акций основных компаний
2. Качественные данные о рынке	▪ структура потребности ▪ мотивы покупки ▪ процессы покупки
3. Структура отрасли	▪ количество производителей ▪ вид производителей и продавцов ▪ организации (союзы) ▪ характер конкуренции ▪ прибыльность бизнеса ▪ объёмы инвестиций в отрасли и степень государственной поддержки
4. Надёжность, безопасность	▪ барьеры для доступа ▪ возможность появления товаров-заменителей
5. Анализ конкуренции	▪ оборот (доля рынка) ▪ сильные и слабые стороны ▪ стратегии конкуренции ▪ финансовая помощь ▪ качество управления
6. Характеристики сегментов	▪ количество покупателей ▪ виды (размеры) сделок ▪ сложности, свойственные отдельным сегментам
7. Структура распределения	▪ географическая ▪ по каналам сбыта ▪ и другие

В процессе сбора внутренней информации о коммуникационном процессе предприятия проводится анализ бухгалтерских документов, стандартных форм аналитического учета, информации из существующих баз данных и маркетинговых отчетов. Основой внутренней информации является бухгалтерская отчетность, обладающая наибольшей полнотой, периодичностью (см. табл. 2).

Таблица 2

Источники внутренней информации о результатах коммуникационной деятельности предприятия

Наименование показателей	Источники информации
Затраты на коммуникационные процессы	
Административные затраты	Строка 040 Ф № 2
Торговые затраты	Дебетовый оборот 44 счёта
Складские затраты	Аналитика 26 счёта
Транспортные затраты	Аналитика 26 счёта
Затраты на маркетинговые исследования	Аналитика 26 счёта
Затраты на рекламу	Аналитика 26 счёта
Затраты на стимулирование сбыта	Лицевые карточки
Затраты на связи с общественностью	Аналитика 26 счёта
Общие издержки предприятия	
Валовые издержки	Строка 020 Ф № 2
Постоянные издержки	Аналитика 20, 26 счёта
Доход и прибыль предприятия	
Валовый доход	Строка 010 Ф № 2
Общий товарооборот	Дебетовый оборот 51 счёта, Строка 260 Ф № 1
Прибыль	Строка 050 Ф № 2
Прибыль от краткосрочных проектов	Аналитика 80 счёта
Выручка от предоставляемых услуг и сервиса	Кредитовый оборот 46 счёт
Общие характеристики предприятия	
Число работников	Личные карточки
Количество продавцов	Личные карточки
Количество новых заказов	Ведомость заказов
Количество имеющихся заказов	Ведомость заказов
Количество рекламаций	Гарантийные талоны
Количество товаров в стадии роста и зрелости	Книга учёта заказов
Количество потребителей	Список заказчиков
Объём продукции на складе	Карточки учёта товаров
Прибыль канала товародвижения	Строка 050 Ф № 2
Суммарные затраты на канал товародвижения	Дебетовый оборот 46 счёта
Данные об участии фирм в выставках	Аналитический учёт

Основная задача системы сбора информации состоит в оперативной и рациональной обработке информации, распределении ее по потребителям внутри предприятия. В систему сбора информации входят следующие основные компоненты:

• система внутренней отчетности предприятия;

• база данных по текущей внешней информации – совокупность структурированных данных о среде микроокружения и макроокружения предприятия, позволяющая получать необходимую для принятия решения информацию;

• система данных по имеющимся исследованиям;

• банк методов – набор методик анализа статистических данных и выявления причинно-следственных связей;

• банк моделей – набор специфических моделей, позволяющих обеспечить выбор оптимальных решений (прогнозные модели спроса, емкости рынка, сегментации рынка и др.).

Следующими этапами планирования процесса являются формирование целей и стратегий маркетинга. Цели представляют собой численные показатели продаж (выручка, прибыль, доля рынка) по существующим и новым товарам и рынкам.

Цели коммуникаций должны согласовываться с общекорпоративными целями и иметь точную количественную характеристику [4]. Обычно цели ставятся по доходу и прибыли в денежном

выражении. Для построения временного ряда, отражающего динамику изменения прибыли, необходимо собрать данные о фактических значениях полученной прибыли (*Пф*) период с момента начала планирования (*t*1) до настоящего времени (*tn*) нарастающим итогом:

$$Пф_t = Пф_{t1} + Пф_{t2} + \ldots + Пф_{tn}. \quad (1)$$

Используя математические методы прогнозирования, данный временной ряд может быть экстраполирован до планируемого момента.

На момент времени t_k фирме необходимо установить значение величины требуемой целевой прибыли ($Пц_{tk}$). Для построения динамического ряда можно воспользоваться простой линейной интерполяцией от заданного значения $Пц_{t1}$ до установленного $Пц_{tk}$.

Степень достижимости заданного значения целевой прибыли *tk*, при использовании предприятием существующих маркетинговых процессов, может быть определена по формуле:

$$\alpha_0 = 1 - \frac{Пц_{ел} - Пф_t}{Пц_{tk}}. \quad (2)$$

Если вероятность получения целевой прибыли в момент времени t_k меньше 1, то возникает так называемая «брешь», которая влечёт необходимость последующей корректировки или пересмотра направления выбранной коммуникационной стратегии. Однако следует учитывать, что такие решения должны быть также связаны с анализом тенденций развития потребителя [5]. С целью определения брешей (gaps) в стратегии могут быть использованы элементы gap-анализа, который проводится по основным направлениям маркетингового процесса:

- «бреши» в использовании рыночных возможностей;
- «бреши» в товарной политике;
- «бреши» в ценообразовании;
- «бреши» в интегрированных коммуникациях.

Для ликвидации выявленных брешей предприятие может использовать широко известные средства и разновидности стратегий:

1. Портфельные стратегии

а) Матрица BCG (рост/доля)

Темп роста спроса	в	Сохранение лидерства	Инвестирование и избирательное развитие
	н	Получение максимальной прибыли	Уход с рынка
		в	н Др

б) Матрица управляющих политик (MacKinsey или G.E.)

Привлекательность рынка	в	Наступательная (Инвестирование)	Наступательная (Инвестирование)	Оборонительная (Сохранение)
	с	Наступательная (Инвестирование)	Оборонительная (Сохранение)	Деинвестирование (Уход)
	н	Оборонительная (Сохранение)	Деинвестирование (Уход)	Деинвестирование (Уход)
		в	с	н КСФ

в) Система портфолио-анализа

2. Стратегия роста

а) Матрица Ансоффа

Товары	старый	Проникновение на рынок		Развитие рынка	
		р = 50 %	к = 100 %	р = 20 %	к = 400 %
	новый	Развитие товара		Диверсификация	
		р = 33 %	к = 800 %	р = 5 %	к = 1200—1400 %
		старый		новый	Рынок

б) Матрица внешних приобретений

Области деятельности	новые	Дивергентные приобретения	Вертикальная интеграция
	сходные	Конвергентные приобретения	Горизонтальная интеграция
		Диверсификационный тип	Интеграционный тип

в) Новая матрица BCG

Эффект дифференциации	в	Специализированная деятельность	Фрагментарная деятельность
	н	Концентрированная деятельность	Неперспективная деятельность
		в	н Эффект «издержки / объём»

3. Конкурентные стратегии

а) Матрица Портера

Область конкуренции	широкая	Ценовое лидерство	Продуктовое лидерство
	узкая	Ценовое лидерство в нише (фокусированное)	Продуктовое лидерство в нише
		Снижение издержек	Дифференциация

б) Матрица конкурентных преимуществ

Характер стратегии / Позиция фирмы на рынке	Утверждающие стратегии	Пассивные стратегии
Лидеры	«Захват», «Защита»	«Перехват», «Блокировка»
Преследователи	«Атака», «Прорыв по курсу»	«Следование», «Окружение»
Избегающие прямой конкуренции	«Сосредоточение сил на участке»	«Сохранение позиций», «Обход»

Др — доля рынка

КСФ — конкурентный статус фирмы

в, н, с, — высокий, низкий, средний

Для того, чтобы определить возможности ликвидации брешей с помощью рассмотренных стратегий, а следовательно и оценить качество стратегии конкуренции, представляется возможным использовать вероятностные оценки:

$$CK = \sum_{i=0}^{4} \frac{\alpha_i \cdot P_i}{K_i}, \quad (3)$$

где СК — показатель качества стратегии конкуренции, применяемой фирмой; α_i — вероятность достижения целевого объёма прибыли или продаж при использовании фирмой i-й стратегии, оцениваемая экспертным путём (обработки рынка ($a1$), развития рынка ($a2$), развития товара ($a3$), диверсификации ($a4$)), причём

$$\sum_{i=0}^{4} \alpha_i = 1, \quad (4)$$

α_0 — возможность достижения целевого значения прибыли по результатам текущей стратегии; *Пц* — целевая прибыль; *Пф* — фактическая прибыль, которую фирма получает при действующей стратегии; P_i — вероятность достижения успеха при использовании i-й стратегии, выраженная в десятичной дроби (по статистическим данным $P_0 = 1$, $P_1 = 0{,}5$, $P_2 = 0{,}2$, $P_3 = 0{,}33$, $P_4 = 0{,}05$); K_i — коэффициент кратности увеличения расходов на реализацию i-й стратегии (по статистическим данным $K_0 = 1$, $K_1 = 1$, $K_2 = 4$, $K_3 = 8$, $K_4 = 12—14$).

Если *Пц* = *Пф*, то $\alpha_0 = 1$, а значит, при выбранной стратегии фирма получает прибыль, равную целевой, т. е. действующая стратегия и является результативной и $CK = 1$.

Если *Пц* < *Пф*, то $\alpha_0 > 1$, то в этом случае можно говорить о заниженных целях, поскольку фирма и так получает прибыль, большую заданной. Если же всё-таки такое соотношение целевой и фактической прибыли имеет место, для вычисления *СК* α_0 условно принимается равным 1.

Завершающим этапом процесса коммуникационного планирования является разработка плана. План коммуникаций – это четко определенный набор мероприятий с жестко прописанными целями и соответствующим бюджетом.

В процессе разработки плана должен быть использованы информацион-ные системы, отвечающие следующим требованиям:

1. Наличие единого хранилища информации о потребителях.

2. Синхронизированность управления множеством каналов взаимодействия с потребителями.

3. Постоянный анализ собранной информации и принятие соответствую-щих организационных решений – например, определение приоритетов потребителей на основе их значимости для компании, выработка индивидуального подхода к потребителю в соответствии с его специфическими запросами.

Реализация концепции эффективной организации производства предполагает создание системы многоцелевых коммуникаций. Игнорирование синергии инструментов коммуникаций неизбежно приводит к фрагментации и, растворению и потере эффектов воздействия. Следует выделить два варианта решения данной проблемы. Суть первого в использовании только одного поставщика маркетинговых услуг, централизация ответственности за все связанные с имиджем предприятия шаги на менеджера по коммуникациям. Действительно, крупные рекламные или маркетинговые агентства имеют возможность координировать все формы коммуникационных контактов клиентов на длительном интервале времени. При этом агентству выделяется весь коммуникационный бюджет клиента, а не только его часть связанная с рекламными объявлениями.

Основную роль в планировании коммуникационных процессов и распределении бюджета начинает играть предприятие, а к сотрудникам коммуникационного агентства предъявляются повышенные требования по координации всех каналов ИМК. При этом могут быть пересмотрены традиционные подходы к выведению на рынок нового товара - выход на рынок новой марки может начаться, например, с ее эксклюзивного распределения. Следует также учитывать зарубежный опыт, когда в мировые сети маркетинговых агентств входят (помимо традиционных отделов) подразделения, специализирующиеся на PR, стимулировании сбыта, директ-маркетинге, веб-дизайна, электронной торговли в Интернете и др.

Очевидно, подобная координация подходит для формирования имиджа тех предприятий, у которых отсутствует опыт организации коммуникационной деятельности [4].

Вторым вариантом реализации плана маркетинга является создание единой межфункциональной команды в рамках предприятия. В настоящее время подразделения предприятия реализуют планы, которые недостаточно скоординированы с его концепцией. Классическим примером конфронтации является конфликт между разработчиком нового товара и маркетологом. По мнению разработчика, главной целью предприятия должны быть инновации, по мнению маркетолога – удовлетворение запросов потребителей. Различие между подразделениями предприятия могут усиливаться в связи с функциональным лидерством и коммуникационным давлением. Чтобы осуществить координацию работы по реализации плана коммуникационного маркетинга, могут быть сформированы многофункциональные команды во главе с коммерческим директором.

В рамках данного исследования была проведена оценка необходимости реализации проекта по созданию отдела маркетинга в сравнении с другими альтернативными проектами. Оценка осуществлялась пятью экспертами – руководителями крупных предприятий и носила предварительный характер.

Таблица 3

Ранжирование критериев по важности

Эксперты	Ранг критерия				
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
1-й	2	1	4	3	5
2-й	1	3	5	2	4
3-й	1	2	5	3	4
4-й	1	3	4	2	5
5-й	2	1	5	3	4
$R_i = \Sigma R_{ik}$	7	10	23	13	22
$V_{ij} = \mathrm{R}_{\min} / r_j$	1	0,7	0,304348	0,538462	0,3
$W_j = V_{ij} / \Sigma V_j$	0,35	0,24	0,11	0,19	0,11

Альтернативные проекты:

A_1 — проведение широкомасштабной рекламной акции;

A_2 — создание комплекса услуг;

A_3 — создание маркетингового отдела на предприятии.

Критерии оценки альтернатив:

K_1 — эффективность (объём продаж);

K_2 — затраты на проект;

K_3 — срок реализации проекта;

K_4 — период окупаемости;

K_5 — гибкость проекта.

Согласно данным таблицы 3, самым важным и значительным критерием является критерий эффективности проекта, самым незначительным — срок реализации проекта (рис. 2).

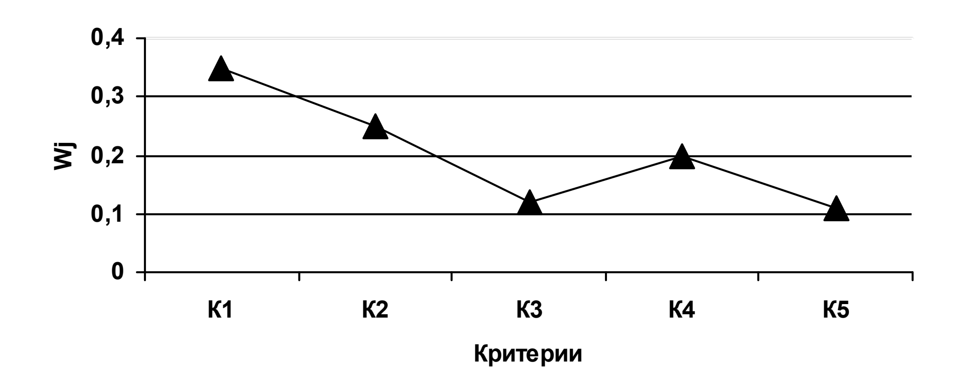


Рис. 2. Фильтр весовых коэффициентов

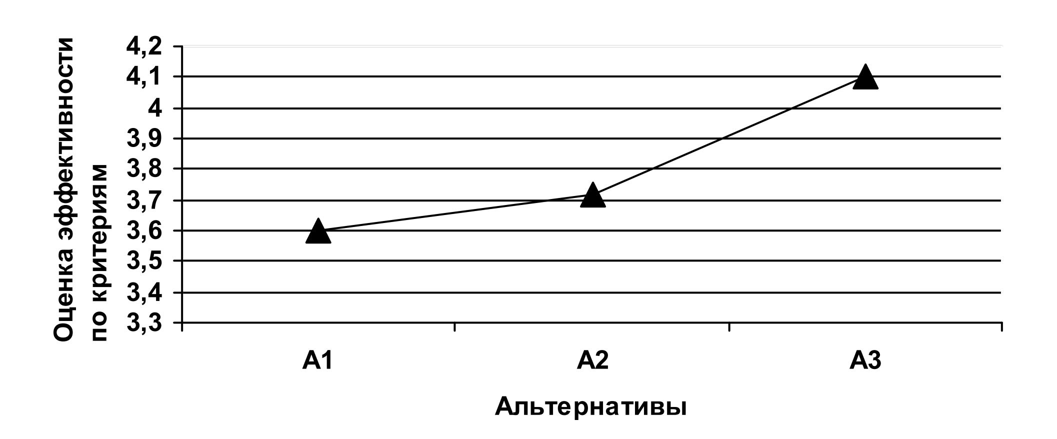


Рис. 3. Профиль эффективности проектов

Весовые коэффициенты определяют некоторый фильтр при оценке эффективности проектов по многим критериям (рис. 3).

Расчёты позволили сделать вывод [3], что наиболее оптимальным с точки зрения поставленных критериев является проект создания службы маркетинга, что наглядно иллюстрирует график. При сравнении альтернатив использовалась пятибалльная шкала оценки, и коэффициент конкордации мнений экспертов был достаточно высок (63 %), что говорит о высокой степени доверия к полученным оценкам весовых коэффициентов критериев.

Работа по реализации плана должна предусматривать четыре этапа:

— подготовка к реализации плана;

— организация взаимодействия отделов;

— управление процессом реализации;

— максимизация эффективной деятельности подразделений.

Заключение. Все коммуникационные процессы должны быть связаны с целью предприятия, которая обычно формулируется и выражается в стратегии, основных принципах и миссии. Вопрос функционирования подразделений внутри предприятия должен также рассматриваться с точки зрения эффективности организации всех производственных процессов.

Библиографический список

1. Егорова, Т. А. Организация производства на предприятиях машиностроения: учеб. пособие / Т. А. Егорова. — Санкт-Петербург: Питер, 2004. — 304 с.

2. Симонян, Т. В. Маркетинг и маркетинговые коммуникации: учеб. пособие / Т. В. Симонян, Т. Г. Кизилова. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. — 212, [2] с.

3. Симонян, Т. В. Методологические вопросы повышения эффективности производства на основе рыночных инструментов / Т. В. Симонян, Л. Р. Клиновенко // Организация производства, инновационная деятельность и маркетинг: коллектив. моногр. / под общ. ред. С. М. Крымова. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2010. — С. 155.

4. Туровец, О. Г. Организация производства на предприятии: учеб. пособие для вузов / О. Г. Туровец, В. Н. Родионова. — Москва: Инфра-М, 2005. — 206 с.

5. Чейз, Р. Б. Производственный и операционный менеджмент: пер. с англ. / Р. Б. Чейз, Н. Дж. Эквилайн, Р. Ф. Якобс. — 8-е изд. — Москва: Вильямс, 2004. — 704 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

References

1. Egorova, T. A. Organizaciya proizvodstva na predpriyatiyax mashinostroeniya: ucheb. posobie / T. A. Egorova. — Sankt-Peterburg: Piter, 2004. — 304 s. — In Russian.

2. Simonyan, T. V. Marketing i marketingovy`e kommunikacii: ucheb. posobie / T. V. Simonyan, T. G. Kizilova. — Rostov-na-Donu: Feniks, 2011. — 212, [2] s. — In Russian.

3. Simonyan, T. V. Metodologicheskie voprosy` povy`sheniya e`ffektivnosti proizvodstva na osnove ry`nochny`x instrumentov / T. V. Simonyan, L. R. Klinovenko // Organizaciya proizvodstva, innovacionnaya deyatel`nost` i marketing: kollektiv. monogr. / pod obshh. red. S. M. Kry`mova. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2010. — S. 155. — In Russian.

4. Turovecz, O. G. Organizaciya proizvodstva na predpriyatii: ucheb. posobie dlya vuzov / O. G. Turovecz, V. N. Rodionova. — Moskva: Infra-M, 2005. — 206 s. — In Russian.

5. Chejz, R. B. Proizvodstvenny`j i operacionny`j menedzhment: per. s angl. / R. B. Chejz, N. Dzh. E`kvilajn, R. F. Yakobs. — 8-e izd. — Moskva: Vil`yams, 2004. — 704 s. — In Russian.

INDUSTRIAL ENGINEERING TECHNIQUES AND TOOLKIT ON BASIS OF COMMUNICATION PROCESS SCHEDULING

T. V. Simonyan, D. B. Dashchinskiy
(Don State Technical University)

Industrial engineering techniques are total operations and methods for the production or rendering ser-vices. The selection of the method and industrial engineering techniques — job shop-type, batch or repetitive — is primarily subject to the industrial scale. The manufacturing programme making, batch quantity and stock optimization de-pend on the size of the customer orders, and are determined by the diagnosis effectiveness. Production engineering processes are completed in the planning (including communication), forming the closed model of all productive processes of the enterprise.
Keywords: *industrial engineering techniques, industrial engineering toolkit, planning, communication processes.*

УДК 005.2:658:007

Понятие, возможности и ограничения синергетического подхода в управлении на предприятии

М. Б. Флек, Ю. К. Верченко
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены сущность и основные характеристики синергетического подхода как инструмента сохранения жизнеспособности с одновременным поиском новых альтернатив развития в изучении поведения сложных систем.
Ключевые слова: *интеграционные процессы, самоорганизация, синергетический подход, открытые системы, неравновесность, нелинейность, необратимость, точки бифуркаций, аттракторы.*

Введение. Сегодня чрезвычайно актуальна проблема целостного видения и понимания окружающего мира — природы, техники, человека и общества — как единого эволюционного процесса. Учитывая же существующую непомерно узкую специализацию многих современных — в первую очередь физических и технических — наук, необходимо поставить непростой вопрос о единой научной основе для формирования такого целостного взгляда на мир. В последние годы в силу самой логики своего развития в науке начались и непрерывно ускоряются интеграционные процессы, связанные с изучением кооперативных явлений в системах существенно разной природы. В этой связи синергетика — наука о кооперативных процессах — стала претендовать на роль целостной парадигмы современного естествознания.

Основополагающие идеи и принципы синергетики. В чём секрет того, что одни предприятия, как некие системы, живут и развиваются, а другие, даже при всей их исходной мощи и силе, угасают и деградируют? На этот вопрос пытается найти ответ новое научное направление в экономике, которое называется синергетикой, или теорией самоорганизации.

Принципиальное отличие синергетического подхода от классических методов науки базируется на выявлении фундаментальной роли свойства самоорганизации в нелинейных динамических системах. Самоорганизация в системе может возникнуть из-за изменения некоторых её параметров, называемых управляющими, в результате изменения числа компонентов системы, а также из-за перехода системы в новое состояние. Примерами процессов самоорганизации являются:

- в физике — образование сложных структур в гидродинамических системах, когерентные колебания в лазерах, упорядоченные состояния в плазме, эффект мультистабильности в физике твёрдого тела;
- в технике — макроскопические изменения внешних параметров, например, явление флаттера в авиации, резкие деформации оболочек;
- в электро- и радиотехнике — когерентные электромагнитные колебания в различных осцилляторах, появление комбинационных частот в генераторах;
- в химии — образование макроскопических колебательных структур типа реакции Белоусова-Жаботинского [3];
- в биологии — процесс образования высокоупорядоченных, кооперативных структур морфогенеза, т. е. дифференциации клеток путём обмена информацией между ними для образования жизненно важных структур; затем — динамика популяций и эволюция как образование макроскопических структур и т. д.

Приведённые примеры из весьма различных областей знания показывают, что все они обладают некоторыми общими свойствами, а именно: адаптируя этот подход, предприятия как сис-

темы состоят из огромного числа элементов и подсистем и, что особенно важно, в этих системах без какого бы то ни было внешнего воздействия появляются упорядоченные структуры.

Изучение поведения сложных систем окончательно развеяло представление о том, что есть единственный гарантированный путь к успеху. Новый взгляд на организацию как сложную систему позволил обратить внимание на ряд условий, которые являются определяющими для её эффективности.

Учитывая обобщённый характер синергетики как теории самоорганизации и саморазвития систем любой природы, целесообразно рассмотреть её основные понятия и принципы с точки зрения объяснения сложного поведения экономических систем.

По мере развития определяется то направление организации, которое объединяет всех, становится общественно значимым и вдыхает новую жизнь. Но синергетика утверждает, что для этого нужно пройти через хаос, или путь поиска методом проб и ошибок. Только так можно нащупать свой путь. Нужно попытаться сохранить жизнеспособность с одновременным поиском новых альтернатив развития. Если мы хотим быть общественно значимыми, то, что бы ни делали, главные усилия должны быть нацелены на стимулирование активности новых социальных сил, на перспективные нормы и принципы технологической организации производственных процессов, на ценности, которые могут обеспечить обществу развитие в изменившемся мире завтрашнего дня.

Синергетика (теория сложных систем) — представляет собой научное направление, изучающее законы самоорганизации систем различной природы. Под самоорганизацией, в свою очередь, понимается системное явление самопроизвольного возникновения и автономной поддержки сложных структур, порядков и согласованного поведения. Новый подход к управлению организациями ориентирован на распознавание, запуск и поддержку самоорганизующихся тенденций [1].

В настоящее время теория сложных систем интенсивно развивается в рамках таких направлений, как стратегический менеджмент и теория организаций, иногда под названиями «сложная стратегия» (complexity strategy) и «сложная адаптационная организация» (complex adaptive organization).

Сам термин «синергетика» был предложен Германом Хакеном [1]; он происходит от греческого — «вместе действовать». Сегодня синергетика — наука о самоорганизации — превращается во всеобщую теорию развития, имеющую широкие мировоззренческие последствия. Суть этой новой объединяющей науки состоит в том, что в открытых системах (например, экономических), обменивающихся с внешней средой энергией, веществом и информацией, возникают процессы *самоорганизации*, т. е. процессы рождения из хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами. Это общее определение справедливо для систем любой природы. Подчеркнём два фундаментальных свойства высокоэффективных синергетических систем — во-первых, обязательный обмен с внешней средой энергией, веществом и информацией, во-вторых, *непременное взаимосодействие*, т. е. согласованность поведения между компонентами системы.

В течение короткого времени синергетика — теория неравновесных процессов — превращается во всеобщую теорию развития, имеющую весьма широкие мировоззренческие последствия. При этом смысл и содержание данной новой интегральной науки заключается в том, что в *открытых системах,* обменивающихся с внешней средой энергией, веществом и информацией, возникают процессы самоконструирования, т. е. рождения из физического (химического, биологического и т. д.) хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с существенно новыми свойствами.

В основе классического понимания науки всегда лежала некоторая совокупность экспериментальных результатов и выдвинутых учёными принципов или гипотез. Современная же наука, в отличие от классической, всё в большей мере становится *концептуальной.* И в этой связи синер-

гетика — это не новая наука в классическом понимании слова, а по существу — наука различной природы.

Синергетический подход направлен прежде всего на выявление макроскопических свойств того или иного процесса, например, целых образований, популяций и т. д. Указанный подход не выделяет поведение отдельного элемента или частицы, как это делается в классической механике, для него наиболее важным является количество отдельных компонентов, входящих в общую систему. В синергетическом подходе предполагается, что само это *количество — параметр порядка,* который *управляет* поведением каждого элемента системы.

В основе самоорганизующихся процессов лежит синергетический *принцип подчинения,* согласно которому исходная сложная система может быть представлена в виде некоторой сложной иерархической системы, состоящей из совокупности динамических подсистем. Последние подчинены друг другу и находятся между собой в определённой динамической взаимосвязи.

А. А. Колесников [3] подчёркивает особую важность того, что основные принципы синергетики в полной мере согласуются с фундаментальными идеями современной физики, в которой кардинальное значение придаётся не силовым внешним воздействиям, на чём основана классическая механика, а *взаимодействиям* между компонентами (частицами) системы, и эти взаимодействия физически реализуются через динамические *паттерны* — некоторые энергетические *«сгустки» (аттракторы)* в окружающем поле, пронизывающем всё пространство системы. По его мнению, именно паттерны отражают динамическую, преходящую природу рассматриваемых явлений. И чем больше энергия, которая перераспределяется в результате образования новых паттернов, тем быстрее протекают процессы обмена между компонентами и, следовательно, тем сильнее взаимодействие.

В подтверждение вышеизложенного следует выделить общий признак, характерный для многих отраслей знания, которым является выявление и формирование самоорганизующихся устойчивых структур, отражающих фундаментальные принципы современной науки.

Экономическая интерпретация теории самоорганизации определяет её как науку о выживании, подчёркивая при этом, что главным критерием успеха деятельности любого предприятия является его жизнеспособность как системы (а всё остальное вторично). Синергетика определила и основные характеристики жизнеспособных систем: открытость, неравновесность и нелинейность [11].

Открытость экономических систем. Для того чтобы в экономических системах возникали процессы самоорганизации, системы должны быть *открытыми,* способными постоянно обмениваться веществом (энергией, информацией) с окружающей средой и обладать как «источниками» — зонами подпитки энергией окружающей среды, действие которых способствует наращиванию структурной неоднородности данной системы, так и «стоками» — зонами рассеяния, «сброса энергии», в результате действия которых происходит сглаживание структурных неоднородностей в системе. Открытость (наличие внешних источников («стоков»)) выступает необходимым условием неравновесных состояний, в противоположность замкнутой системе, неизбежно стремящейся, в соответствии со вторым началом термодинамики, к равновесному состоянию [5].

Нетрудно убедиться, что любые экономические агенты, так же как и экономическая система любого предприятия в целом, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к открытым системам — в них постоянно циркулируют потоки денег, ресурсов, информации и пр.

Неравновесность экономических процессов. Одной из важных характеристик сложной экономической системы, способной к самоорганизации и, следовательно, к развитию, является её *неравновесность.*

Система любой природы, находящаяся в жёстко равновесном состоянии, замкнута на себя, так как для неё не существует внешнего времени и, следовательно, истории. В условиях отсутст-

вия постоянного притока и оттока вещества, энергии и информации все изменения переменных системы постепенно затухают, и система достигает окончательного состояния статического равновесия.

В качестве примера рассмотрим режим статического равновесия в производственной деятельности предприятия. В этом случае товарно-денежный оборот будет иметь постоянную величину: количество произведённого товара в точности соответствует денежной массе для его приобретения, инвестиции отсутствуют, новые технологии не внедряются, численность населения поддерживается на строго определённом уровне и т. д. В итоге мы будем наблюдать общество, в котором фактически замерла история, время измеряется лишь сменой численно одинаковых поколений, нет места ни изменениям, ни развитию. Примерами таких замкнутых обществ могут служить Китай в эпоху Конфуция, СССР в некоторые периоды своей истории и др.

Отсюда следует важный вывод, сформулированный в работе [6], о том, что любая инновация, любое изменение при таком положении дел выведет экономику из равновесного состояния, причём этот процесс будет носить необратимый характер. Смысл универсальной закономерности поведения самоорганизующихся систем самой различной природы, от физических до социальных и экономических, — процессы самоорганизации могут протекать только в неравновесных системах и имеют необратимый характер.

В экономических системах универсальное свойство необратимости процесса и неравновесность состояния выступают в неразрывном единстве, так же как и в физическом мире [13, 14].

Свойство необратимости в неживой природе проявляется в процессах вязкости, трения и т. д., в которых происходит рассеяние энергии. В живой природе свойство необратимости проявляется в эволюции биологических видов.

Важнейшим понятием синергетики является бифуркация — раздвоение, разделение некоторой зависимости (решения x) на несколько ветвей при изменении некоторого параметра системы.

Такого рода переход, носящий взрывной характер, называется «бифуркацией» (раздвоение, разветвление), а критическое значение параметров (A) системы, при которых возможен этот переход в новое состояние — «точками бифуркаций». Один из основоположников теории самоорганизации И. Р. Пригожий [10] отмечал, что обнаружение явления бифуркации вводит в ту или иную систему элемент исторического подхода. Любое описание системы, претерпевшей бифуркации, требует включения хаотических представлений. Находясь между двумя точками бифуркации, система развивается закономерно, тогда как вблизи этих точек существенную роль уже играют флуктуации, которые и определяют, по какой из ветвей кривой будет далее развиваться система.

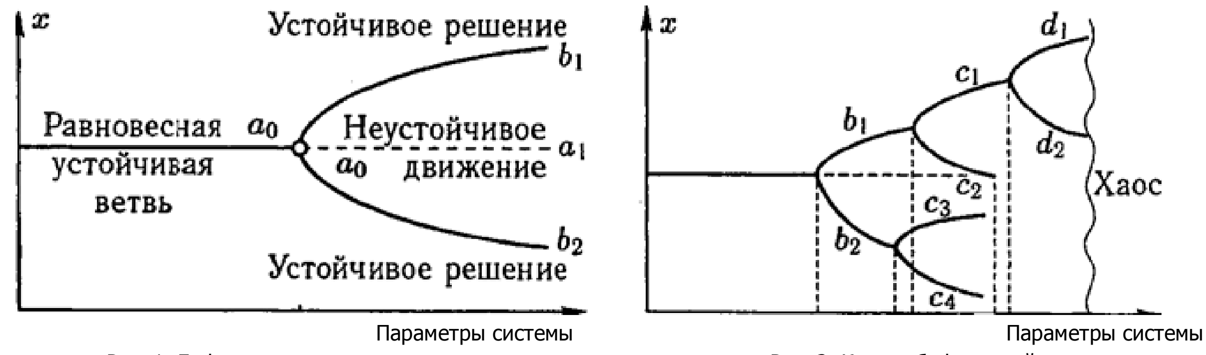


Рис. 1. Бифуркация типа «вилки» Рис. 2. Каскад бифуркаций

На рис. 1 изображена бифуркация типа «вилки» — «питчфорк» [5]. При переходе параметра через некоторое значение число ветвей скачкообразно возрастает от одного (a_0) до трёх: две устойчивые ветви b_1 и b_2 и одна неустойчивая ветвь a_1. Какую из устойчивых ветвей, b_1 или

b_2, после точки бифуркации «выберет» система, решают флуктуации, т. е. малые случайные внутренние или внешние возмущения. В результате действия даже малых флуктуаций система неизбежно выйдет на ветвь b_1 или b_2. А вот на какую конкретно — сложно предугадать заранее. Система сама «предопределяет» своё будущее, и именно в этом проявляется её свойство самоорганизации.

В общем случае следует рассматривать последовательность (каскад) бифуркаций, представленный рис. 2. И в ситуации, когда наблюдается рост числа бифуркаций, в системе возникает состояние, очень похожее на *хаос.*

Итак, при бифуркациях система сама как бы определяет свои последующие состояния — ветви развития (b_1 — c_1 — d_1) или стагнации (b_1 — c_4 и т. д.). Это указывает на множественность путей и целей развития сложных экономических систем [2]. Бифуркационная диаграмма, изображённая на рис. 2, показывает, что для управления процессами в сложных системах необходимо изменить управляющий параметр.

Как видно из рис. 2, поведение сложной системы состоит из устойчивых и неустойчивых режимов. Переход от одного режима к другому происходит в точках бифуркации. Чем представлены устойчивые и неустойчивые состояния?

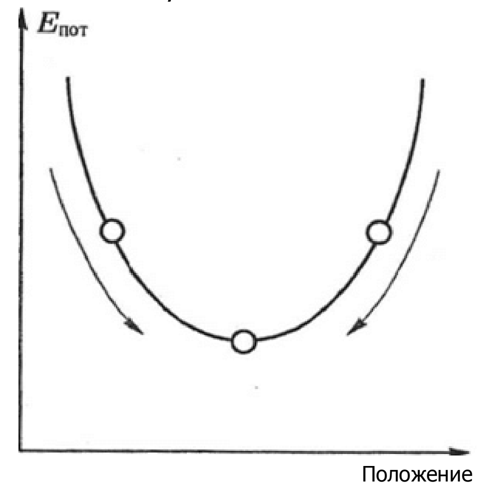




Рис. 3. Устойчивое равновесие

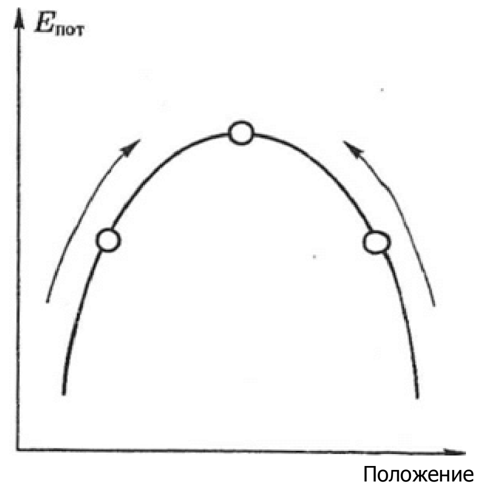


Рис. 4. Неустойчивое равновесие

На рис. 3, 4 для примера показаны устойчивое и неустойчивое положения. В первом случае условный шарик падает в некоторую потенциальную яму и будет там находиться сколь угодно долго — это устойчивое равновесие. Во втором случае шарик обязательно скатится под действием малых возмущений — это неустойчивое равновесие [10].

Типичным примером бифуркаций в экономических системах может служить переход от полной загрузки производственных мощностей к неполной в связи с изменением внешних или внутренних условий. Изменение некоторых параметров управления, например, переориентация капиталовложений с увеличения производства на его совершенствование, может привести к новому состоянию предприятия, т. е. к хаосу. Колебания между этими двумя состояниями (b_1 и b_2) могут быть объяснены методами синергетики.

Нелинейность экономических систем. У экономических систем существуют такие состояния, вблизи которых внутрисистемные законы резко и без промежуточных переходов изменяются. Наступает такой момент времени, когда сама экономическая система становится «вдруг» в существенной мере новой, но уловить такие переходы, хотя бы на самом общем уровне, существующая экономическая теория пока ещё не в состоянии. Это свидетельствует о *нелинейности*, присущей современным экономическим системам.

Смысл нелинейности системы заключается в том, что её реакция на то или иное изменение внешней или внутренней среды не пропорциональна этому изменению.

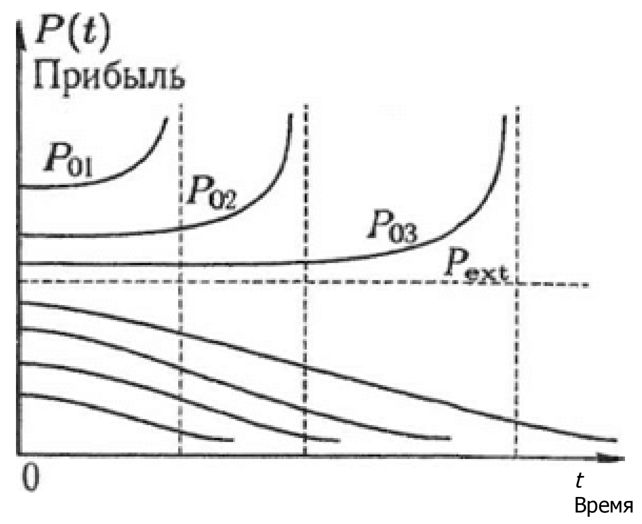


Рис. 5. Изменение чистой прибыли предприятия со временем при различных значениях P_0 — стартового капитал

Так, на рис. 5 приведены графики изменения прибыли предприятия $P(t)$ в зависимости от времени, где P_{ext} — размер стартового капитала, при котором средние валовые издержки равны средней прибыли [6]. В зависимости от имеющегося у предприятия начального стартового капитала P_0, его прибыль может изменяться совершенно по-разному. Например, если $P_0 = P_{ext}$, то, естественно, его чистая прибыль ($P = P_0 - P_{ext}$) будет равна нулю. При $P_0 < P_{ext}$, т. е. когда стартовый капитал меньше P_{ext}, прибыль предприятия монотонно уменьшается. В случае $P_0 > P_{ext}$, т. е. когда стартовый капитал больше P_{ext}, характер изменения прибыли принципиально изменяется. При этом, в зависимости от величины P_{0i} — стартового капитала, прибыль за конечное время (t_{f1}, t_{f2}, t_{f3} и т. д.) растёт очень быстро и может достигать значительной величины. Время t_f достижения максимальной прибыли тем меньше, чем больше стартовый капитал P_0 превышает P_{ext}.

Графики на рис. 5 отражают нелинейность поведения экономической системы. Такое поведение характерно для сложных систем в моменты «обострения». Отсюда происходит качественный смысл нелинейности — множественность путей развития экономической системы. И тот факт, что в нелинейной системе могут возникнуть только те структуры, которые отвечают внутренним тенденциям развития процессов именно этой системы в соответствующий момент времени (см. рис. 5), означает, что возможны различия в достижении синергетического эффекта как при объединении структур, находящихся на разных стадиях развития.

В качестве одного из ярких примеров синергетического эффекта, подчёркивающего универсальность закономерностей развития нелинейных экономических систем, является возникновение дополнительной стоимости, которая появляется в результате объединения двух или более предприятий. Такое явление отражает синергизм (synergy). Цель синергизма в целом состоит в повышении эффективности экономической жизнеспособности по результатам совместной деятельности. Сам по себе синергизм не всегда очевиден, что делает слияние более сложной задачей, чем обычное капиталовложение в ту или иную отрасль.

Прохождение через точки ветвления — бифуркации эволюционного древа, совершение «выбора» закрывает альтернативные пути и делает тем самым эволюционный процесс необратимым. В социально-экономических системах необратимость выступает в виде накопления и хранения исторического опыта, воплощённого в знаниях, идеологии, навыках, традициях, поэтому об-

щество уже не в состоянии вернуться вспять и повторить пройденное или выбрать иной путь развития [6].

В нелинейной системе может одновременно существовать множество путей (целей) развития процессов (явление бифуркации), приводящих к разным типам структур — аттракторам. Под «аттрактором» (притягивателем) в синергетике понимают относительно устойчивое состояние системы, которое как бы притягивает к себе всё множество траекторий системы, определяемых разными стартовыми (начальными) условиями. Как только система попала в область «притяжения» аттрактора, она неизбежно эволюционирует к этому относительно устойчивому состоянию (структуре) [1].

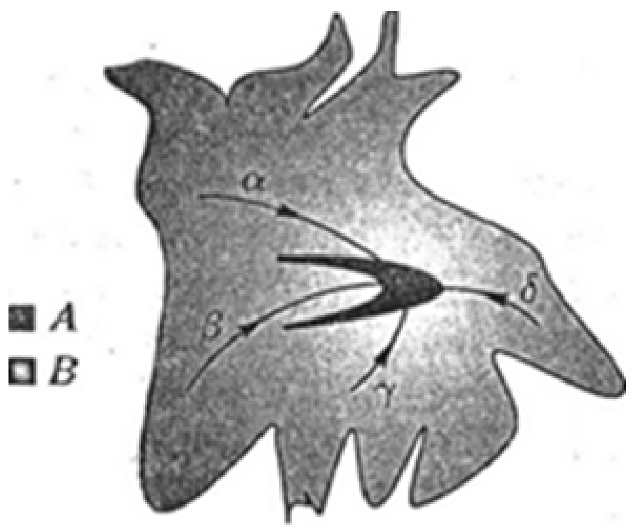


Рис. 6. Характер эволюции системы к её аттрактору *A* из любой точки в области притяжения *B*

На рис. 6 показан характер эволюции системы к её аттрактору *A* из любой точки в области притяжения *B.* Откуда бы ни стартовала система, она неизбежно «свалится» на аттрактор — конечную цель поведения системы [3]. Итак, универсальность принципов организации и самоорганизации даёт возможность для формирования плодотворного синергетического подхода в решении методологических социальных и технико-экономических задач.

Заключение. В основе синергетики лежит фундаментальное явление самоорганизации в сложных нелинейных динамических системах. Однако синергетика ещё не построила всеобщую и единую теорию самоорганизации, справедливую для всех видов природных, социально-экономических и технических систем, поэтому в зависимости от конкретных свойств предметной области той или иной науки синергетический подход приобретает отличительные особенности и содержание.

В этой связи в настоящее время мы можем говорить о синергетическом подходе как о некоторой направляющей концепции в соответствующей науке. Эта концепция позволяет построить новое отношение к процессу интегрального познания различных наук. Однако недостаточно указать лишь на те или иные особенности синергетической парадигмы современной постнеклассической науки. Не менее важным для проблемы познания природных процессов является усвоение нелинейного способа мышления, избавление от повсеместного доминирования линейного подхода. Кардинальным в синергетическом познании процессов самоорганизации природных систем является понимание неотделимости «порядка и хаоса», их парной дополнительности друг к другу.

Синтез гуманитарных и естественных наук, возврат к изначально единой культуре человека и есть тот путь к *целостному видению и пониманию окружающего мира,* к новому пониманию природы, человека, техники и общества как единого эволюционного процесса.

Обобщающее направление в описании сложных процессов различной природы — *синергетика* — базируется на современных физико-математических подходах, существенно отличающихся от классических методов, на которых основано современное образование, учётом свойства *самоорганизации* в нелинейных системах.

Изучение механизмов теории самоорганизации в управлении предприятием как сложной системой позволяет выделить три основных процесса в синергетическом действии: адекватное планирование, эффективный обмен знаниями и оперативной информацией и текущая координация работы. Такой подход имеет довольно широкую предметную базу в каждом из этих направлений, с большим количеством примеров, отражающих представления об искусстве управления организацией. Этот факт подтверждает убеждение, что рассматриваемая наука, как и любая другая область человеческой деятельности, легко описывается, но тяжело воспроизводится. По всей видимости, основным моментом здесь является то, что практическое принятие решения — более многомерно, так как учитывается гораздо больше сопутствующих факторов, чем отражено в рекомендациях. Вместе с тем особую актуальность приобретают методики, содержащие конкретный набор действий для различных ситуаций.

Библиографический список

1. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. — Москва: Мир, 1980. — 406 с.

2. Колесникова, Т. А. Основные понятия и принципы синергетики социально-экономических систем / Т. А. Колесникова // Синергетика и проблемы теории управления: [сборник] / под ред. А. А. Колесникова. — Москва: Физматлит, 2004. — С. 482—495. — ISBN 5-9221-0336-9.

3. Колесников, А. А. Синергетическая теория управления / А. А. Колесников. — Таганрог: ТРТУ; Москва: Энергоатомиздат, 1994. — 344 с. — ISBN 5-230-24678-2.

4. Моисеев, Н. Н. Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев; АН СССР. — Москва: Наука, 1987. — 302, [2] с.

5. Коваленко, И. Основные идеи и предмет синергетики / И. Коваленко. — Режим доступа: http://www.bioinformatix.ru/sinergetika/osnovnyie-idei-i-predmet-sinergetiki.html (дата обращения: 1.12.2011).

6. Сапецкий, А. О. Социосинергетика / А. О. Сапецкий // Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты: тр. семинара. — Москва: Изд-во МГУ, 1999. — С. 194—212.

7. Пу, Т. Нелинейная экономическая динамика: пер. с англ. / Т. Пу. — Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 2002. — 200 с. — ISBN 5-7029-0327-7.

8. Евстигнеев, В. Р. Идеи И. Пригожина в экономике. Нелинейность и финансовые системы / В. Р. Евстигнеев // Общественные науки и современность. — 1998. — № 1. — С. 112—121.

9. Капустин, В. С. Синергетика социальных процессов: уч. пособие по курсу «Основы гуманитарных знаний» / В. С. Капустин; Моск. энерг. ин-т (МЭИ). — Москва: Изд-во МЭИ, 1996. — 64 с.

10. Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс; общ. ред. В. И. Аршинова [и др.]. — Москва: Прогресс, 1986. — 432 с.

11. Капица, С. П. Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. — Москва: Едиториал УРСС, 2003. — ISBN 5-354-00296-6.

12. Шумпетер, Й. А. Капитализм, Социализм и Демократия: пер. с англ. / Й. А. Шумпетер; предисл. и общ. ред. В. С. Автономова. — Москва: Экономика, 1995. — 540 с. — (Экон. наследие). — ISBN 5-282-01415-7.

13. Абалкин, Л. И. Эволюционный подход и проблемы переходной экономики / Л. И. Абалкин. — Москва: Российская академия наук, 1995. — 273 с.

14. Балацкий, Е. В. Современный экономический анализ: принципы, подходы, парадигмы / Е. В. Балацкий // Вестн. РАН. — 1995. — Т. 65. — № 11. — С. 968.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

References

1. Xaken, G. Sinergetika / G. Xaken. — Moskva: Mir, 1980. — 406 s. — In Russian.

2. Kolesnikova, T. A. Osnovny`e ponyatiya i principy` sinergetiki social`no-e`konomicheskix sistem / T. A. Kolesnikova // Sinergetika i problemy` teorii upravleniya: [sbornik] / pod red. A. A. Kolesnikova. — Moskva: Fizmatlit, 2004. — S. 482—495. — ISBN 5-9221-0336-9. — In Russian.

3. Kolesnikov, A. A. Sinergeticheskaya teoriya upravleniya / A. A. Kolesnikov. — Taganrog: TRTU; Moskva: E`nergoatomizdat, 1994. — 344 s. — ISBN 5-230-24678-2. — In Russian.

4. Moiseev, N. N. Algoritmy` razvitiya / N. N. Moiseev; AN SSSR. — Moskva: Nauka, 1987. — 302, [2] s. — In Russian.

5. Kovalenko, I. Osnovny`e idei i predmet sinergetiki / I. Kovalenko. — Rezhim dostupa: http://www.bioinformatix.ru/sinergetika/osnovnyie-idei-i-predmet-sinergetiki.html (data obrashheniya: 1.12.2011). — In Russian.

6. Sapeczkij, A. O. Sociosinergetika / A. O. Sapeczkij // Estestvennonauchny`e, social`ny`e i gumanitarny`e aspekty`: tr. seminara. — Moskva: Izd-vo MGU, 1999. — S. 194—212. — In Russian.

7. Pu, T. Nelinejnaya e`konomicheskaya dinamika: per. s angl. / T. Pu. — Izhevsk: Izd-vo Udmurtskogo un-ta, 2002. — 200 s. — ISBN 5-7029-0327-7. — In Russian.

8. Evstigneev, V. R. Idei I. Prigozhina v e`konomike. Nelinejnost` i finansovy`e sistemy` / V. R. Evstigneev // Obshhestvenny`e nauki i sovremennost`. — 1998. — # 1. — S. 112—121. — In Russian.

9. Kapustin, B. S. Sinergetika social`ny`x processov: uch. posobie po kursu «Osnovy` gumanitarny`x znanij» / V. S. Kapustin; Mosk. e`nerg. in-t (ME`I). — Moskva: Izd-vo ME`I, 1996. — 64 s. — In Russian.

10. Prigozhin, I. Poryadok iz xaosa: Novy`j dialog cheloveka s prirodoj: per. s angl. / I. Prigozhin, I. Stengers; obshh. red. V. I. Arshinova [i dr.]. — Moskva: Progress, 1986. — 432 s. — In Russian.

11. Kapicza, S. P. Sinergetika i prognozy` budushhego / S. P. Kapicza, S. P. Kurdyumov, G. G. Malineczkij. — Moskva: Editorial URSS, 2003. — ISBN 5-354-00296-6. — In Russian.

12. Shumpeter, J. A. Kapitalizm, Socializm i Demokratiya: per. s angl. / J. A. Shumpeter; predisl. i obshh. red. V. S. Avtonomova. — Moskva: E`konomika, 1995. — 540 s. — (E`kon. nasledie). — ISBN 5-282-01415-7. — In Russian.

13. Abalkin, L. I. E`volyucionny`j podxod i problemy` perexodnoj e`konomiki / L. I. Abalkin. — Moskva: Rossijskaya akademiya nauk, 1995. — 273 s. — In Russian.

14. Balaczkij, E. V. Sovremenny`j e`konomicheskij analiz: principy`, podxody`, paradigmy` / E. V. Balaczkij // Vestn. RAN. — 1995. — T. 65. — # 11. — S. 968. — In Russian.

CONCEPT, POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF SYNERGETIC METHOD IN COMPANY MANAGEMENT

M. B. Flek, Y. K. Verchenko
(Don State Technical University)

The matter and basic features of the synergetic method as a vitality saving tool with the simultaneous search of new development alternatives in the behavioral research on complex systems are considered.
Keywords: *integration processes, self-organization, synergetic method, open systems, nonequilibrium, nonlinearity, unconvertibility, bifurcation points, attractors.*

УДК 005.334:658:368

Управление рисками на промышленном предприятии посредством организационно-экономического механизма страхования

Н. М. Ованесян, Е. А. Мидлер
(Донской государственный технический университет)

Промышленные предприятия в рыночной экономике функционируют в условиях кризиса. Проблема управления рисками интересует учёных со времён А. Смита. Однако объектом пристального внимания российских учёных и практиков управление рисками стало в последнее десятилетие, поскольку успешное развитие предприятий, их финансовая устойчивость, конкурентоспособность и инвестиционная привлекательность во многом зависят от эффективности управления рисками.
Ключевые слова: *риск, информационный капитал, концепция «приемлемого риска», риск-менеджмент, страховая защита, промышленное страхование, организационно-экономический механизм страхования.*

Введение. Неопределённость исходов различных сфер деятельности приводит к выбору одного из нескольких решений, имеющих различную вероятность осуществления. И чем больше неопределённость хозяйственной ситуации, тем выше риск. Без учёта его факторов и умения управлять им (риск-менеджмент) предприятию не обойтись. Если теоретически любой риск поддаётся управлению, то на практике задачей риск-менеджмента является не обнуление, а снижение риска до приемлемого уровня с учётом затрат на управление [1].

Теория риска. В основе категориальной структуры теории рисков лежит понятие «опасность» как объективная закономерность, обусловливающая процессы количественного и качественного изменения макро- и микросистем, воспринимаемые в форме угрозы жизненно важным интересам людей. По своему генезису, степени вероятности опасность как осознанная угроза имеет природное и общественное происхождение. Всякое общество организует себя в зависимости от рисков, с которыми ему приходится сталкиваться: риски внешней и гражданской войн, эпидемий, техногенные, финансовые, социальные риски [2]. В настоящее время исследователи справедливо выделяют новый виток или волну рисков для жизни людей, сообществ и человеческой цивилизации в целом.

Основатель теории общества риска немецкий социолог У. Бек отмечает: «Речь по большей части идёт о проблемах, являющихся следствием самого технико-экономического развития… Мы действительно приближаемся к переменам в общественном устройстве, которые выводят нас из существовавших до сих пор категорий, образа мыслей и способов действия» [3].

За последнее десятилетие появилось значительное количество исследований и публикаций, посвящённых рискам. В разных аспектах изучались известные их виды и были получены заметные научные и практические результаты. Однако существенные различия точек зрения относительно характера и природы, содержания и сфер проявления, видов и последствий рисков серьёзно затрудняют продвижение к общепризнанному толкованию понятия риска, его предмета, организации, методов и инструментов классификации.

Величина риска как форма качественно-количественного выражения реально существующей неопределённости не только субъективна, но и объективна. Неопределённость и риск можно выделить в качестве факторов развития предпринимательской деятельности. При их взаимодействии важными связующими звеньями в условиях финансовой глобализации выступают, с одной стороны, капитал, а с другой — информация, что позволяет выделить новую дефиницию — информационный капитал. Его мы рассматриваем как актив, обеспечивающий эффективное управление финансовым капиталом в условиях неопределённости рыночной среды. Важность инфор-

мационного капитала определяется принципиальной неполнотой знаний о будущем. Если будущее является вполне определённым, а риски управляемыми, то для обеспечения эффективности бизнеса достаточно ценовой информации. Если будущее не ясно, а риски представляют собой сложную систему элементов, то требуется оценка прогнозируемых тенденций и факторов риска на основе методологии проектного подхода, направленного на усиление благоприятных и ослабление неблагоприятных тенденций.

Классифицировать риски можно по разным критериям (классификационным признакам): причинам возникновения, функциональным видам и отраслям предпринимательства, этапам решения проблем, длительности воздействия, возможности страхования, уровню допустимости и т. д. [4]. Это позволяет оценить влияние риска на деятельность предприятия, увидеть факторы (главные и второстепенные), формирующие его конкретный вид, определить значимость, роль и место каждого риска в их системе.

Экономические риски характеризуются следующими факторами:

– социальной необходимостью разрешения рисковой ситуации;

– неопределённостью исхода;

– возможностью получения либо блага, связанного с достижением запланированной цели, либо ущерба в случае неуспеха;

– содействием планам субъекта (содействие успеху субъекта) в разрешении рисковой ситуации и действиям против его планов (действия в ущерб субъекту);

– необходимостью рационального подхода к разрешению рисковой ситуации [5].

В связи с усложнением условий реализации контрактов, многообразием видов, источников и возможных последствий, риск необходимо рассматривать в системной связи с другими факторами и параметрами хозяйственной и производственной деятельности субъектов рынка.

Само свойство системности, совокупность рисков, порождённых ею, является важнейшим фактором реализации неблагоприятных событий, которые необходимо предотвратить или нейтрализовать. Системный риск имеет место, когда один риск (одно событие) порождает другой (другое событие), значительно превышающее по своей разрушительности ущерб, вызванный первым событием. Происходит так называемая «цепная реакция» в системе рисков [6]. Практически все они являются системными, поскольку:

– вероятность реализации системного риска влияет на вероятность возникновения других рисков;

– величина потерь от различного рода рисков зависит от потерь, связанных с реализацией данного конкретного системного риска, который предполагает наличие тесной взаимосвязи с вероятностью и ущербностью прочих рисков.

Стимулирующая функция риска носит как конструктивный, так и деструктивный характер. Первый проявляется в том, что риск при решении экономических задач играет роль катализатора. Второй выражается в том, что принятие и реализация решений с необоснованным риском делают политику предприятия авантюрной. Защитная функция имеет также два аспекта: историко-генетический и социально-правовой. Содержание первого состоит в том, что индивиды и экономические агенты всегда стихийно ищут формы и средства защиты от возможных нежелательных последствий. На практике это проявляется в создании страховых резервных фондов для управления предпринимательскими рисками. Сущность второго аспекта заключается в необходимости внедрения в хозяйственное, трудовое, уголовное законодательство категорий правомерности риска [4].

В условиях глобализации производство рисков перестало быть только фактором случайности, личной деятельности отдельных индивидов, что было характерно для традиционного и даже индустриального общества. Риски становятся более взаимозависимыми, менее изолированными: они могут иметь такую степень взаимного воздействия, что совокупность их последствий

будет нарастать. Сегодня риски более предсказуемы, менее стохастичны — всё более точные прогнозы делают медики, метеорологи, сейсмологи.

В России проблема усиления рисков весьма актуальна. Это обусловлено влиянием групп факторов, одним из которых является промышленно-технологическая революция. Она сопровождается общим отягощением рисковой ситуации — растёт число и тяжесть технических аварий, новых сложных рисков — от взрывов, пожаров при внедрении новых технологий до рисков, связанных с информационными технологиями, генетикой и т. д.

Управление рисками на промышленном предприятии. Риск присутствует в работе предприятия любого типа. Существенная часть деятельности кредитно-финансовых и торговых структур характеризуется ситуацией повышенного риска. Напротив, предприятиям производственного типа свойственно более осторожное отношение к риску, что можно объяснить сложностью и многообразием выявления источников риска, а также способов выбора индикаторов риска. Это определяется прежде всего тем, что, в отличие от большинства операций в финансовом секторе, деятельность промышленных предприятий характеризуется неоднородностью, отсутствием надёжной статистической базы, редкостью или уникальностью большинства рисковых событий.

Угрозы, которые испытывают сегодня промышленные предприятия, исходят из внешней и внутренней среды. К таким угрозам, прежде всего, относятся:

– перебои в поставках сырья, материалов, комплектующих, энергии и других потребляемых ресурсов;

– удорожание этих ресурсов, ведущее к росту себестоимости и цены продукции, а значит, и к потере части покупателей и объёма продаж;

– низкая конкурентоспособность продукции;

– неплатёжеспособность покупателей;

– дефицит информационного капитала предприятия о реальной ситуации на рынке.

Информационный капитал — это накопленные знания, отражающие способность оценивать неценовую информацию и принимать на этой основе адекватные решения относительно будущего поведения экономических агентов. Чем неопределённее будущее и адекватнее принимаемые решения по управлению рисками, тем ценнее информационный капитал. Его нельзя оценить непосредственно, а вот косвенная оценка не только вполне возможна, но и регулярно осуществляется рынком.

Эти и другие рисковые факторы нарушают ресурсообеспечение предприятия и ослабляют его реакцию на возможные угрозы. Однако рисковые факторы — не статистически неизменные, а управляемые параметры, и на их уровень можно и нужно оказывать воздействие. Вместе с тем такое воздействие можно оказать только на проанализированный риск, для чего его нужно оценить, выявить и идентифицировать факторы риска, проанализировать последствия их проявления и т. д. Фактически можно говорить о концепции «приемлемого риска» [7].

Концепция «приемлемого риска» в стратегическом планировании исходит из признания того факта, что всегда существует риск не реализовать намеченный план, так как невозможно полностью устранить потенциальные причины, приводящие к нежелательному развитию событий и — как результат — к отклонению от выбранной цели. Вместе с тем ясно, что для достижения выбранной стратегической цели всегда можно найти решение, обеспечивающее некоторый «приемлемый» уровень риска, который соответствует определённому балансу между ожидаемой выгодой и угрозой потерь.

В ходе разработки стратегии концепция приемлемого риска реализуется в двух процедурах: оценки риска и управления риском. Оценка риска строится на всестороннем изучении предприятия и среды его функционирования как источника риска, анализе внешних и внутренних факторов риска, построении и анализе событий при действии тех или иных факторов риска, оп-

ределении показателей оценки уровня риска. Данная оценка позволяет не только сократить возможные потери, но и принять соответствующие стратегические решения по их снижению в долгосрочной перспективе. Любая конструктивная оценка риска неизбежно носит двойственный характер. С одной стороны, она объективна, потому отражает объективность риска, то есть богатство альтернатив и связей между объектами и субъектами, участвующим в рисковой ситуации. С другой стороны, оценка субъективна, поскольку она неизбежно отражает характер субъекта, принимающего риск, степень полноты, достоверности и точности информации о ситуации, которой располагает субъект.

Процесс анализа риска можно представить в виде следующей цепочки: ситуация риска — осознание риска — виды риска — факторы и причины — меры минимизации (риск-менеджмент). Поскольку риск-менеджмент, как и любое управление, не может осуществляться без определённой цели, необходим критерий, задающий её и позволяющий оценить управляемый риск в его текущем значении. Важным показателем такого рода можно назвать опасность риска, которую требуется (или не требуется) снижать. Проявлением любого риска являются потери, а их размер — предмет количественной оценки.

Проблема управления рисками является одной из ключевых в деятельности промышленных предприятий. Здесь главной целью управления рисками становится обеспечение успешного функционирования предприятия в условиях риска и неопределённости. Это означает, что в случае возникновения экономического ущерба реализация мер по управлению риском должна обеспечить возможность продолжения операций, стабильность и устойчивость существующих денежных потоков, поддержание прибыльности и роста предприятия и достижение других целей [8]. Это связано, во-первых, с тем, что степень принимаемого риска оказывает определяющее воздействие на формирование уровня доходности финансовых операций любого предприятия. Во-вторых, финансовые риски являются основной формой генерирования прямой угрозы не только утраты устойчивого положения предприятия, но и банкротства. В-третьих, необходимость наращивания инновационной активности предприятия в области разработки и реализации новых продуктов и технологий, использование венчурных форм финансирования усиливают рисковость среды бизнеса.

Проблема организации процессов управления рисками в российских компаниях требует решения следующих задач.

1. Выявление и группировка рисков, которым подвергается компания, независимо от специфики отрасли, в которой она ведёт свою деятельность.

2. Определение места и роли риск-менеджмента в системе управления предприятия.

3. Определение необходимого и достаточного для защиты от негативных факторов инструментария управления рисками.

4. Развитие системы промышленного страхования как основного метода управления рисками на предприятии.

Производственная деятельность промышленных предприятий связана с наличием широкого спектра рисков. В связи с этим представляется актуальной разработка научных основ формирования системы промышленного страхования в России и определение основных направлений его развития в системе риск-менеджмента в современных условиях.

Страхование рисков на промышленном предприятии. Страхование, являясь важным элементом промышленной политики, позволяет снижать инвестиционные риски и привлекать большие объёмы финансирования. Сущность методов страховой защиты, как известно, заключается в передаче риска страховщику за определённую плату. При страховании происходит отвлечение части собственных финансовых средств на уплату страховых взносов, в результате чего происходит недоинвестирование производства и потеря части прибыли. С другой стороны, в будущем

возможен приток средств, в виде компенсации убытков при наступлении страхового случая. В результате происходит перераспределение финансовых потоков, которое приводит к изменению стоимости предприятия и его чистых активов, рассчитанной с учётом ожидаемых денежных поступлений.

Страховщики главным образом рассматривают те риски, которые могут быть оценены с помощью количественных показателей. Однако их соотношение не всегда определяет соотношение опасностей рисков, поскольку размеры возможных убытков всегда интуитивно соотносятся с возможной вероятностью их реализации.

Страховой рынок входит в систему более высокого порядка — рынок услуг по управлению рисками. Участники новых экономических отношений становятся более рациональными в области управления рисками и принятия соответствующих решений. Особенность развития страхования — его двойственная зависимость от внешней среды: с одной стороны, потребность в страховых услугах определяется наличием рисковых обстоятельств и их осознанием агентами рынка, с другой — возможностями отвлечения средств от производственного и личного потребления с целью приобретения этих услуг. Формой реализации страховой защиты является страховая услуга. Потребность в ней — необходимое условие становления и развития рыночной инфраструктуры. Именно в процессе предоставления страховой услуги проявляется и оформляется место страхования в рыночном хозяйстве.

Организационно-экономический механизм страхования способствует смягчению или устранению влияния непредвиденных обстоятельств путём восстановления разрушенной стоимости. Основная функция, которую выполняют финансовые системы в целом и институт страхования в частности, — снижение и распределения риска между множеством экономических агентов. Именно наличие риска формирует спрос на институт страховой защиты как способа минимизации потерь. Как отмечал П. Самуэльсон: «Любая деятельность, как и риск, повышает общее экономическое состояние» [9].

В проекте Стратегии развития страхования в Российской Федерации 2008—2012 гг. отмечено, что страхование как один из эффективных рыночных механизмов управления рисками призвано обеспечить стабильное развитие экономики и социальной сферы, стимулировать ответственное экономическое поведение субъектов хозяйствования, сокращая нагрузку на бюджет.

Страхование рисков предприятия снижает неопределённость в планировании финансовой деятельности. Предприятие заменяет неизвестные ему затраты на компенсацию убытков в будущем определёнными затратами на уплату страховой премии. Происходит это благодаря эффекту интегрирования отдельных рисков индивидуальных страхователей в общий массив страхового фонда страховщика. Страховые фонды представляют собой гарантированный источник денежных средств для компенсации убытков страхователя в случае возникновения неблагоприятных событий.

Перечень опасностей, от которых должно производиться страхование, зависит от характера риска. Для промышленных рисков таковыми считаются пожар, взрыв, поломки механизмов и машин, стихийные бедствия; для инвестиционных — события, приводящие к потере объектов инвестиций или прибыли в результате вложения средств. Перечень опасностей в пределах конкретного страхового покрытия определяется ещё и выбором вида страхования. Предприятие имеет возможность выбрать, в рамках каких видов страхования желательно получить страховую защиту. Соответственно задача риск-менеджера — определить, какого типа и в каких масштабах должно быть предусмотрено покрытие для отдельных рисков, присущих предприятию.

Однако страхование промышленных рисков в России пока не получило должного развития. Это связано с недостатками законодательного обеспечения страховой деятельности, системы налогообложения, отсутствием страховых традиций и опыта в проведении страхования юридиче-

ских лиц. Зачастую страховщики сталкиваются с вопросами правильной оценки риска, определения страховых тарифов, составления договора. Использование механизма страхования как финансового инструмента для покрытия риска связано с определёнными проблемами, основная из которых заключается в том, что страхование практически никогда не может обеспечить полную компенсацию всех убытков. Кроме того, любой промышленный объект обладает собственными уникальными чертами, и это обстоятельство следует иметь в виду при обсуждении условий страхования.

В процессе формирования системы оптимальной страховой защиты предприятия необходимо определить перечень рисков, представляющих угрозу деятельности предприятия; виды страхования, адекватные перечню рисков; лимиты требуемых страховых покрытий по конкретным видам страхования; размер франшизы для рисков, передаваемых на страхование.

Заключение. Страховой риск-менеджмент предполагает всестороннее изучение представителями страховщика особенностей бизнеса корпоративных клиентов в целях формирования для них набора мер предупредительных мероприятий и пакетов страховых продуктов в рамках разработанных программ страховой защиты, которые наиболее адекватно соответствовали бы потребностям того или иного предприятия. Важную роль при построении системы оптимальной страховой защиты предприятия играет расчёт оптимального уровня каждого из лимитов покрытия. Кроме того, важно обратить внимание на определение оптимального уровня самострахования, что выражается в виде и размере установленной в договоре страхования франшизы.

Библиографический список

1. Цветкова, Л. И. Методологические основы управления инвестиционным риском / Л. И. Цветкова, В. В. Иванов // Управление риском. — 2004. — № 4. — С. 59.

2. Кесслер, Д. Старые и новые риски и социальная роль страхования / Д. Кесслер // Страховое дело. — 2005. — № 12. — С. 40.

3. Бек, У. Общество риска. На пути к другому модерну / У. Бек; пер. с нем. В. Седельника, Н. Фёдоровой. — Москва: Прогресс-Традиция, 2000. — С. 22—23.

4. Тэпман, Л. Н. Риски в экономике / Л. Н. Тэпман. — Москва: ЮНИТИ, 2002. — 380 с.

5. Нерсисян, Т. Я. Управление рисками в системе управления предприятием / Т. Я. Нерсисян // Управление риском. — 2007. — № 2. — С. 21.

6. Цветкова, Л. И. Принципы исследования системных рисков / Л. И. Цветкова // Управление риском. — 2005. — № 2. — С. 28—34.

7. Бутыркин, А. Я. Учёт факторов риска при разработке стратегии промышленного предприятия / А. Я. Бутыркин // Управление риском. — 2005. — № 5. — С. 60.

8. Неретина, Е. А. Организация интегрированного риск-менеджмента на промышленном предприятии / Е. А. Неретина // Управление риском. — 2008. — № 4. — С. 55.

9. Самуэльсон, П. Экономика / П. Самуэльсон, В. Нордхаус. — Москва: Бином-КноРус, 1997. — С. 445.

Материал поступил в редакцию 01.12.2011.

References

1. Czvetkova, L. I. Metodologicheskie osnovy` upravleniya investicionny`m riskom / L. I. Czvetkova, V. V. Ivanov // Upravlenie riskom. — 2004. — # 4. — S. 59. — In Russian.

2. Kessler, D. Stary`e i novy`e riski i social`naya rol` straxovaniya / D. Kessler // Straxovoe delo. — 2005. — # 12. — S. 40. — In Russian.

3. Bek, U. Obshhestvo riska. Na puti k drugomu modernu / U. Bek; per. s nem. V. Sedel`nika, N. Fyodorovoj. — Moskva: Progress-Tradiciya, 2000. — S. 22—23. — In Russian.

4. Te`pman, L. N. Riski v e`konomike / L. N. Te`pman. — Moskva: YUNITI, 2002. — 380 s. — In Russian.

5. Nersisyan, T. Ya. Upravlenie riskami v sisteme upravleniya predpriyatiem / T. Ya. Nersisyan // Upravlenie riskom. — 2007. — # 2. — S. 21. — In Russian.

6. Czvetkova, L. I. Principy` issledovaniya sistemny`x riskov / L. I. Czvetkova // Upravlenie riskom. — 2005. — # 2. — S. 28—34. — In Russian.

7. Buty`rkin, A. Ya. Uchyot faktorov riska pri razrabotke strategii promy`shlennogo predpriyatiya / A. Ya. Buty`rkin // Upravlenie riskom. — 2005. — # 5. — S. 60. — In Russian.

8. Neretina, E. A. Organizaciya integrirovannogo risk-menedzhmenta na promy`shlennom predpriyatii / E. A. Neretina // Upravlenie riskom. — 2008. — # 4. — S. 55. — In Russian.

9. Samue`l`son, P. E`konomika / P. Samue`l`son, V. Nordxaus. — Moskva: Binom-KnoRus, 1997. — S. 445. — In Russian.

RISK MANAGEMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE USING BUSINESS INSURANCE MECHANISM

N. M. Ovanesyan, E. A. Midler
(Don State Technical University)

Industrial enterprises in the market economy function amid the crisis. The risk management problem has been interested scientists since A. Smith. However, risk management has become an object of close attention for the Russian scientists and experts in recent decades, inasmuch as the effective business development, financial stability, competitiveness and investment attractiveness of the enterprises depend largely on the risk management effectiveness.
Keywords: *risk, information capital, acceptable risk concept, risk management, insurance coverage, industrial insurance, business insurance mechanism.*

УДК 005.932:658

Особенности работы подсистемы «вспомогательное производство» промышленного предприятия

Г. И. Чекмарёва, М. Б. Флек
(Донской государственный технический университет),
А. С. Недоруб
(ОАО «Донской табак»)

Современная концепция разработки машиностроительного предприятия, включающая в себя идею систематического подхода к комплексному решению вопросов, играет важную роль в экономике. Данный подход позволяет исследователю изучать поведение системы предприятия как единого механизма, вместо того чтобы концентрироваться на отдельных её элементах. Данный подход основывается на утверждении, что в случае, если каждый отдельный элемент или подсистема имеет высокую производительность и функциональность, то результирующее состояние системы в целом может быть неоптимальным только при нарушении качественной взаимосвязи между её частями. Таким образом, описанный в работе систематический подход становится всё более важным методом исследования в экономике.
Ключевые слова: *машиностроительное предприятие, разработка, систематизация, материальный поток.*

Введение. На современных машиностроительных предприятиях понятие «система» играет важнейшую роль. Фундаментальная идея использования системного подхода для решения сложных проблем настолько внедрилась в современные экономические отношения, что мы считаем эту идею само собой разумеющейся и говорим о ней как о строгой методологии (которой она, по существу, не является). Системный подход заключается в том, что исследователь пытается изучать поведение системы в целом, а не конкретизировать своё внимание на отдельных её частях. Подобный подход берёт своё начало от признания того факта, что если даже каждый элемент или подсистема имеют конструктивные оптимальные или функциональные характеристики, то результирующее состояние системы в целом может оказаться лишь субоптимальным вследствие взаимодействий между её отдельными частями. Возрастающая сложность экономических систем и потребность преодолеть эту сложность привели к тому, что системный подход становится всё более необходимым методом исследования.

Построение подсистемы «вспомогательное производство» логистической системы. Всем сложным системам свойственны определённые характеристики, исследуемые нами при попытке улучшить поведение системы. Укажем среди них следующие:

1. Изменчивость. Условия или состояние, в котором находится система в настоящее время, есть обобщённый результат прошлого поведения системы и основа для его будущего поведения. Ни одна реальная логистическая система не остаётся статичной в течение длительного периода времени. Те или иные элементы включаются в систему или же исключаются из неё, изменяются параметры элементов либо они перемещаются за пределы системы.

2. Наличие окружающей среды. Каждая система существует в окружающей её среде и является в действительности подсистемой некоторой более крупной системы. Окружающая систему среда представляет собой комплекс наделённых определёнными свойствами элементов, которые хотя и не являются частью системы, однако при некоторых изменениях могут вызвать сдвиг в её состоянии. Таким образом, окружающая систему среда должна быть представлена всеми внешними переменными, которые могут оказать воздействие на состояние системы.

3. Противоинтуитивное поведение. Поверхностное ознакомление со сложными системами может порой привести к выводу о необходимости того или иного корректирующего воздейст-

вия, которое на деле часто оказывается неэффективным или даже приводит к обратным результатам. Причина и следствие часто не имеют тесной связи во времени и в пространстве, признаки тех или иных ситуаций могут проявиться позже начала действия вызвавших их причин. Очевидное решение может привести в действительности к обострению проблемы, а не её решению.

4. Взаимозависимость. Никакие действия в сложной системе невозможно полностью изолировать. Каждое событие подвержено влиянию предшествующих событий и оказывает влияние на последующие. Кроме того, различные виды действий в реальных условиях обычно протекают в параллельных направлениях и в конечном счёте оказывают влияние друг на друга.

5. Организация. Реально все сложные системы состоят из элементов, характеризующихся высокой степенью организации. Части объединяются в иерархии подсистем, которые взаимодействуют между собой для выполнения целевого назначения системы.

Поведение сложных систем во многом обусловлено предшествующими характеристиками их прошлых аналогов. Хотя сложные системы и их окружающая среда существуют объективно, они в то же время содержат элементы субъективности — в том смысле, что выбор включаемых или исключаемых из системы элементов в их конфигурацию диктуется исследователем. Различные методы анализа одного и того же объективного процесса или явления могут привести к созданию весьма отличающихся друг от друга концепций реальных систем и соответствующих им окружающих условий.

Системы, рассматриваемые в рамках предприятия, называются внутрипроизводственными системами, к ним с уверенностью можно отнести и предприятия машиностроительной отрасли. Эти системы можно рассматривать на макро- и микроуровнях.

На макроуровне внутрипроизводственные системы выступают в качестве элементов макросистем. Они задают ритм работы систем, являются источником преобразования материальных потоков. Возможность адаптации макросистем к изменениям окружающей среды в существенной степени определяют способность входящих в них микросистем быстро менять качественные и количественные составляющие как входящего, внутреннего, так и выходящего материального потока.

На микроуровне внутрипроизводственные системы представляют собой ряд подсистем, находящихся в отношениях и связях друг с другом, определяющих определённую целостность. Для машиностроительных предприятий эти подсистемы: закупка, склады, запасы, обслуживающее производство, транспорт, информация, сбыт, кадры, обеспечивающие вхождение материального и сопутствующих потоков в систему, прохождение внутри неё и выход из системы.

В соответствии с концепцией логистики построение внутрипроизводственной логистической системы машиностроительного предприятия должно обеспечивать возможность постоянного согласования и взаимной корректировки планов и действий снабженческих, производственных и сбытовых звеньев внутри предприятия. Критериями оптимизации функционирования внутрипроизводственных логистических систем является минимизация себестоимости продукции, минимальная длительность производственного цикла за счёт сокращения потерь времени на вспомогательных производственных участках при обеспечении заданного уровня качества готовой продукции.

Организация производственных процессов, выбор наиболее рациональных методов подготовки, планирования и контроля операций во внутрипроизводственных системах во многом зависит от типа производства на машиностроительном предприятии.

По типам производства понимается совокупность признаков, определяющих организационно-техническую характеристику производственного процесса, осуществляемого на одном или многих рабочих местах в масштабе участка, цеха, предприятия. Тип производства во многом пре-

допределяет формы специализации и методы организации производственных процессов, оказывает существенное влияние на операции, происходящие внутри системы.

В основу классификации типов производства положены следующие факторы: широта номенклатуры, объём выпуска, степень постоянства номенклатуры, характер загрузки рабочих мест и их специализация.

В зависимости от указанных выше факторов различают три типа производственных процессов или три типа производства: единичное, серийное, массовое.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изделий и выпуском малых объёмов одинаковых изделий, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается. Это делает невозможным постоянное закрепление операций за отдельными рабочими местами. Специализация таких рабочих мест обусловлена только их техническими характеристиками и размерами обрабатываемых изделий. При этом производстве применяется универсальное оборудование и в основном последовательный вид движения партии деталей по операциям технологического процесса. Заводы имеют сложную производственную структуру, а цеха специализированы по технологическому принципу.

Серийное производство специализируется на изготовлении ограниченной номенклатуры изделий сравнительно небольшими объёмами и повторяющимися через определённое время партиями (сериями). В зависимости от числа закреплённых за каждым рабочим местом операций, регулярности повторения партий изделий и их размера различают три подтипа (вида) серийного производства: мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

Массовое производство характеризуется выпуском узкой номенклатуры изделий в течение длительного периода времени и большим объёмом, стабильной повторяемостью. Все изделия номенклатуры завода изготавливаются одновременно и параллельно. Число наименований изделий в годовой и месячной программах совпадают. Оборудование специальное, вид движения предметов труда параллельный. Цеха и участки специализированы преимущественно по предметному принципу. Заводы имеют простую и чётко определённую производственную структуру.

Исходя из типа производства, устанавливается тип предприятия и его подразделений. На каждом предприятии могут существовать различные типы производства. Поэтому тип предприятия или его подразделения определяется по преобладающему на нём типу конечного производства.

Тип производства оказывает существенное влияние на особенности его организации, управления и оперативно-производственного планирования, виды логистических операций, а также на технико-экономические показатели.

Если рассматривать всю совокупность типов производства как единое целое, начиная с единичного и заканчивая массовым, то по мере продвижения к массовому производству можно отметить:

1) непрерывное расширение области применения высокопроизводительных технологических процессов, сопровождающихся механизацией и автоматизацией производства;

2) увеличение доли специального оборудования и специальной технической оснастки в общем количестве орудий труда;

3) общее повышение технической квалификации рабочих, а также внедрение передовых методов и приёмов труда.

На основе этих прогрессивных изменений при переходе от единичного производства к серийному обеспечивается значительная экономия общественного труда и, как следствие, — повышение производительности труда, улучшение использования основных фондов предприятия, сокращение затрат материалов на одно изделие, уменьшение количества логистических операций

и, как следствие, снижение себестоимости продукции, рост прибыли и рентабельности производства.

При преобразовании в конкретное изделие предметы производства проходят через множество основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, протекающих параллельно, параллельно-последовательно или последовательно во времени, в зависимости от сложившейся на предприятии производственной структуры, типа производства, уровня специализации производственных подразделений, форм организации производственных процессов и других факторов. Совокупность этих процессов, обеспечивающих изготовление изделий, принято называть производственным циклом, основными характеристиками которого является его продолжительность и структура.

В соответствии с содержанием производственного процесса, на любом машиностроительном заводе различают основные, вспомогательные и побочные цеха и обслуживающее хозяйство. Их состав, а также формы производственных связей между ними принято называть производственной структурой предприятия.

К вспомогательным цехам и обслуживающему хозяйству на машиностроительных заводах, в частности, относятся: инструментальное, энергетическое, транспортное, складское хозяйства, ремонтная служба.

Остановимся подробнее на работе двух элементов подсистемы «вспомогательное производство машиностроительных предприятий»: транспортном и складском хозяйствах.

Работа современного машиностроительного предприятия связана с перемещением значительного числа разнообразных грузов как за пределы логистической системы, так и внутри неё. На завод в общезаводские или прицеховые склады доставляются материалы, топливо, комплектующие изделия и другие материальные ценности, а со складов или непосредственно из цехов вывозятся готовая продукция и отходы производства.

Внутри завода осуществляется транспортировка материальных потоков с общезаводских складов в цеха, между цехами, из цехов в соответствующие пункты назначения.

Внутри цехов заготовки, детали и сборочные единицы в процессе изготовления и сборки перевозятся между кладовыми и участками, с одного участка на другой, а на участках — между рабочими местами.

В соответствии с этим различают внешнюю и внутреннюю транспортировку грузов; последняя подразделяется на межцеховую и внутрицеховую.

Внутризаводская и частично внешняя транспортировка грузов осуществляется с помощью различных транспортных средств, принадлежащих заводу. Транспортное хозяйство завода включает в себя все транспортные средства завода, осуществляющие внешние и внутренние перевозки, и все устройства общезаводского назначения (гаражи, ремонтные мастерские и т. д.).

Перевозка грузов, погрузочно-разгрузочные и экспедиционные операции являются основными функциями транспортного хозяйства.

Функции транспортного хозяйства завода не ограничиваются только перемещением грузов. Организация внутризаводского транспорта и его работа оказывают непосредственное влияние и на ход производственного процесса, и на себестоимость выпускаемой продукции. От работы транспорта зависят ритмичная работа рабочих мест, участков и цехов, а также равномерный выпуск заводом готовой продукции. Время, затрачиваемое на внутрицеховые и межцеховые перевозки, влияет на продолжительность производственного цикла. Затраты на содержание транспортного хозяйства на некоторых заводах составляют 10—15 % от суммы всех косвенных расходов в себестоимости продукции. В связи с этим основной задачей транспортного хозяйства завода является бесперебойная транспортировка грузов при полном использовании транспортных средств и минимальной себестоимости транспортных операций. Это достигается путём правиль-

ной организации транспортного хозяйства и чёткого планирования работы транспорта, обоснованного выбора транспортных средств, повышения уровня механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ.

Структура транспортного хозяйства завода зависит от характера выпускаемой продукции (габаритные размеры, масса), состава цехов, типа и масштаба производства.

На крупных и средних предприятиях создаётся транспортный отдел, подчинённый непосредственно заместителю директора по общим вопросам или по маркетингу и сбыту (снабжение, сбыт, транспорт). Этот отдел объединяет ряд хозрасчётных единиц по видам транспорта (транспортный цех и др.). В состав транспортного отдела входят бюро (группы): планово-экономическое, диспетчерское, техническое, бюро учёта и др.

Транспортный цех является материальной базой транспортного хозяйства. Цех, как правило, укомплектован различными транспортными средствами для осуществления межцеховых и внешних перевозок грузов.

Для внешних перевозок используют, как правило, автомобильный и железнодорожный транспорт; для межцеховых перевозок — электрокары, роботоэлектрокары, тележки и т. д.

Для внутрицеховых перевозок применяют конвейеры различной конструкции, электротележки и другие специальные транспортные средства, закреплённые за соответствующими цехами предприятия.

Поскольку перемещение материального потока из внешней среды и внутри самой системы всегда сопряжено со складскими операциями, можно с большой долей уверенности утверждать, что на российских машиностроительных предприятиях складское хозяйство является важнейшей частью предприятия, поскольку оказывает непосредственное влияние на ход производственных процессов.

К основным задачам складского хозяйства относятся:

- организация постоянного и бесперебойного снабжения производства соответствующими материальными ресурсами;
- обеспечение их количественной и качественной сохранности;
- максимальное сокращение затрат, связанных с осуществлением складских операций;
- комплектование деталей и других материальных ценностей, подбор, дозировка и прочие операции подготовительного или заключительного характера.

Как правило, на складах выполняется большой объём погрузочно-разгрузочных работ и работ по перемещению материальных ценностей. Поэтому основным направлением в развитии складского хозяйства являются комплексная механизация и автоматизация работ, улучшение использования складских помещений, а также организация снабжения на основе оптовой торговли, внедрения логистических систем снабжения типа "точно вовремя" ("JIT"), которые значительно сокращают объём складских запасов. Складское хозяйство предприятия состоит из различных складов, которые можно классифицировать по следующим признакам.

1. По назначению и подчинённости:

- материальные — подчиняются отделу материально-технического снабжения; принимают и хранят используемые в производстве материалы и выдают их в производство;
- сбытовые — подчиняются отделу сбыта; принимают, хранят и отпускают готовую продукцию завода для её реализации;
- производственные — подчиняются производственно-диспетчерскому отделу; это разного рода цеховые кладовые и общезаводские склады, обеспечивающие производственный процесс предметами и средствами труда;

- склады запасных частей — подчиняются отделу главного механика; принимают, хранят и отпускают детали и другие материальные ценности для проведения всех видов ремонтов оборудования и других видов производственных фондов;
- инструментальные склады — подчиняются инструментальному отделу; принимают, хранят и отпускают цехам все виды инструментов и приспособлений;
- склады отдела главного энергетика, отдела автоматизации и механизации, отдела главного метролога, отходов и утиля.

2. По масштабу работы: центральные, общезаводские, прицеховые и цеховые. Центральные и общезаводские склады обслуживают весь завод и занимают, как правило, отдельную площадь на территории завода (непроизводственную). Прицеховые склады находятся при каких-либо цехах, служат для хранения материальных ценностей группы цехов (спецодежды, хозяйственных товаров и прочих ценностей). Цеховые склады являются цеховыми подразделениями, обслуживают определённый цех и занимают его производственную площадь. Они подразделяются на склады материалов, заготовок, полуфабрикатов, инструмента и т. п.
3. По роду и назначению хранимых материалов различают склады универсальные (для хранения разнообразных материальных ценностей) и специальные (для хранения однородных материалов, например, чёрных металлов, цветных металлов, горючих материалов и др.)
4. По техническому устройству и в зависимости от свойств материалов различают склады открытые (оборудованные площадки), полузакрытые (площадки с навесами) и закрытые (отапливаемые и неотапливаемые).

Склады оснащаются различными стеллажами и унифицированной тарой, мостовыми кранами, кран-балками, монорельсами и тельферами, конвейерами, штабелёрами, авто- и электрокарами, робоэлектрокарами. В гибких производственных системах используются специальные стеллажи, предназначенные для размещения плоских и ящичных поддонов. Такие стеллажи представляют собой систему ячеек по вертикали и горизонтали, которая позволяет применять кодовую шифровку и средства автоматизации погрузочно-разгрузочных работ. Склады с этими стеллажами являются неотъемлемой частью автоматизированно-транспортной системы гибкого автоматизированного производства.

Техническое оснащение складов зависит от рода, формы и количества хранимых материалов; типа, характера и расположения складских помещений; от существующей системы внескладской транспортировки материалов.

Рациональная организация складских операций позволяет руководству предприятия иметь необходимые сведения о наличии товаро-материальных ценностей на складах и своевременно принимать решения об их пополнении и бесперебойном обеспечении производства.

Организация складских операций включает следующие основные элементы: приёмку, хранение, учёт и контроль отпуска материальных ценностей.

Организация отпуска материальных ценностей может быть пассивной или активной. При пассивной системе потребители получают на складах товарно-материальные ценности по материальным требованиям или лимитным картам и своими средствами транспорта доставляют их в цех. Такая система применяется в единичном и мелкосерийном производствах.

При активной системе на складе заранее подготавливают материалы и доставляют их в цех к рабочим местам точно по графику своими средствами транспорта. Эта система применяется в крупносерийном и массовом производствах.

Надлежащая организация выполнения складских операций — необходимое условие экономного использования материалов, обеспечения их сохранности и качества, низких затрат на хранение.

При сооружении склада необходимо оборудовать его подъездными путями, учесть погрузочно-разгрузочные фронты, обеспечить пожарную безопасность, определить массу различных материалов и места их хранения внутри склада, число стеллажей, исходя из допустимой нормы нагрузки на 1 $м^2$ площади пола.

Вся площадь склада делится на:

- грузовую или полезную, непосредственно занимаемую под материальными ценностями;

- оперативную, которая предназначается для приёмно-отпускных операций, сортировки, комплектования материальных ценностей, а также для проходов и проездов между штабелями и стеллажами, для размещения весовой и измерительной техники, служебных помещений, конструктивную, занимаемую под перегородки, колонны, лестницы, подъёмники, тамбуры и т. п.

Расчёт полезной площади может производиться: по способу нагрузок; по способу объёмных измерителей.

Выводы. Описание системы для целей моделирования — сложная и кропотливая работа, состоящая из двух частей: статистического и динамического представления. На этапе формирования статистического представления нами была сделана попытка установления признаков двух элементов вспомогательной подсистемы логистической системы машиностроительного предприятия. На данном этапе были решены следующие вопросы: какие компоненты подсистемы будут включены в модель, какие элементы будут исключены или будут считаться частью окружающей среды, какие структурные взаимосвязи установлены между ними. Следующим этапом было описание возможных изменений в подсистеме при различных окружающих условиях.

Таким образом, можно сказать, что состояние системы в данный момент определяется как набор соответствующих свойств, которые в этот момент обнаруживаются в системе. Однако действительный процесс формулирования модели до некоторой степени индивидуален.

Библиографический список

1. Суворин, Г. Н. Эффективность транзитного и складского снабжения металлопрокатом: уч. пособие / Г. Н. Суворин. — Москва: Мир, 2008.

2. Наумик, В. Т. Транзитом или базой? / В. Т. Наумик. — Москва: Экономика, 2006.

3. Геронимус, В. Л. Оптимизация транзитного и складского снабжения потребителей / В. Л. Геронимус, В. И. Шлефрин. — Москва: Экономика, 2000.

4. Чеботарёва, Г. Н. Оптимизация процесса поставок в двухкаскадных системах снабжения (задача выбора форм снабжения) / Г. Н. Чеботарёва. — Москва: Дельта, 1999.

Материал поступил в редакцию 15.12.2011.

References

1. Suvorin, G. N. E`ffektivnost` tranzitnogo i skladskogo snabzheniya metalloprokatom: uch. posobie / G. N. Suvorin. — Moskva: Mir, 2008.

2. Naumik, V. T. Tranzitom ili bazoj? / V. T. Naumik. — Moskva: E`konomika, 2006.

3. Geronimus, V. L. Optimizaciya tranzitnogo i skladskogo snabzheniya potrebitelej / V. L. Geronimus, V. I. Shlefrin. — Moskva: E`konomika, 2000.

4. Chebotaryova, G. N. Optimizaciya processa postavok v dvuxkaskadny`x sistemax snabzheniya (zadacha vy`bora form snabzheniya) / G. N. Chebotaryova. — Moskva: Del`ta, 1999.

WORK FEATURES OF INDUSTRIAL ENTERPRISE 'AUXILIARY PRODUCTION' SUBSYSTEM

G. I. Chekmareva, M. B. Flek
(Don State Technical University),
A. S. Nedorub
(Donskoy Tabak, JSC)

The modern concept of the machine-building enterprise development involving the idea of the systematic umbrella approach plays a crucial role in the economy. The approach permits the researcher to study the enterprise system behaviour as an integrated mechanism, rather than to concentrate upon its single elements. The approach derives from the recognition that should every single element or subsystem have high productiveness and operativeness, then the total system condition could be nonoptimal just due to the failure in the quality synergies between its parts. So, the discussed systematic approach becomes an ever more significant research method in economics.
Keywords: *machine-building enterprise, development, systematization, material flow.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анисимов Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета.

Аствацатуров Артём Ервандович, доктор технических наук, доктор философских наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
astrov@pochta.ru

Богуславский Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе и инновационной деятельности Донского государственного технического университета.
biv63@mail.ru

Бондаренко Тамара Алексеевна, доктор философских наук, профессор кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.
2467@mail.ru

Бровер Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
brover@mail.ru

Бровер Галина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
brover@mail.ru

Бурлакова Виктория Эдуардовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Химия» Донского государственного технического университета.
vburlakova@donstu.ru

Варавка Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение», руководитель научно-образовательного центра «Материалы» Донского государственного технического университета.
vvaravka@donstu.ru

Варуха Евгений Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
envarukha@yandex.ru

Васильев Андрей Евгеньевич, соискатель кафедры № 6 филиала Военной академии связи (г. Краснодар).

Верченко Юлия Константиновна, кандидат экономических наук, заведующий сектором стратегического планирования научно-исследовательской работы и инновационной деятельности Донского государственного технического университета.
vyk2005@rambler.ru

Грицыхин Владимир Александрович, директор ООО «Донподводстроймонтаж», генеральный директор ООО «Шельф 06».

Дащинский Дмитрий Борисович, соискатель кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.

Домбровский Юрий Маркович, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
yurimd@mail.ru

Ефименко Александр Геннадьевич, аспирант кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения.

Жаров Виктор Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» Донского государственного технического университета.
spu-34.30@donstu.ru

Заковоротный Вилор Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
vzakovozotny@donstu.ru

Колотиенко Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

Колчанов Сергей Сергеевич, студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
servatwork@gmail.com

Корнилов Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
wolinrok@mail.ru

Коробцов Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dstu.koras@yandex.ru

Кудряков Олег Вячеславович, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение», главный научный сотрудник научно-образовательного центра «Материалы» Донского государственного технического университета.
kudryakov@mail.ru

Курова Екатерина Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.

Лаврентьев Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета.
alavrentyev@dstu.edu.ru

Лукьянов Виталий Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
lukjanov@donpac.ru

Медников Алексей Феликсович, младший научный сотрудник научно-образовательного центра «Материалы» Донского государственного технического университета.

Мидлер Елена Александровна, доктор экономических наук, доцент кафедры «Экономика» Донского государственного технического университета.
midler2005@yandex.ru

Могилевская Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
broshka@nm.ru

Морозкин Игорь Сергеевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология металлов» Ростовского государственного университета путей сообщения.
mis_tm@mail.ru

Муругова Елена Валерьевна, доктор филологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Мировые языки и культуры» Донского государственного технического университета.
murugova@aaanet.ru

Недоруб Анатолий Сергеевич, менеджер по экспортным продажам ОАО «Донской табак».
a_nedorub@yandex.ru

Ованесян Наталья Матвеевна, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета.
nat.ovanesyan@yandex.ru

Полушкин Олег Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета.
grunt@mail.ru

Полушкин Олег Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета.
o.polushkin@gmail.com

Рогов Игорь Евгеньевич, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета.

Рогозин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dmrogozin@ya.ru

Рубанов Владлен Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

Рыбак Александр Тимофеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.
rat_ritm@aaanet.ru

Рыжкин Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.
a.ryzhkin_39@mail.ru

Сергеев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика» Донского государственного технического университета.
sergeev00765@mail.ru

Симонян Татьяна Владимировна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
cimonyan.t@gmail.com

Степанов Макар Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология технического регулирования» Донского государственного технического университета.
stepanovms@yandex.ru

Стрельченко Вероника Сергеевна, ассистент кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения.
veron1982@list.ru

Сундетов Марат Хабденович, ассистент кафедры материаловедения и технологии сварки Астраханского государственного университета.
sundetov@bk.ru

Тазаян Араван Бабкенович, доктор философских наук, доцент, профессор кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.
tazayan@spark-mail.ru

Тахтамышев Владимир Григорьевич, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Философия и история Отечества» Ростовского государственного университета путей сообщения.
tahtamishev2012@yandex.ru

Третьяков Олег Павлович, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры № 6 филиала Военной академии связи (г. Краснодар).

Устьянцев Михаил Валерьевич, аспирант кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.
rostumv@mail.ru

Фам Динь Тунг, кандидат технических наук, докторант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
phamdinhtung@mail.ru

Фам Тху Хыонг, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
hoaly_trang2008@yahoo.com

Флек Михаил Бенсионович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
rostvertol@aaanet.ru

Чекмарёва Гэлера Ибрагимовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Мировая экономика и международные экономические отношения» Донского государственного технического университета.
g.chekmareva@gmail.com

Чернышёв Юрий Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Сведения об авторах

Штомпель Людмила Александровна, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой философии и социологии архитектуры и искусства Института архитектуры и искусств Южного федерального университета.
shtompel@donpac.ru

Ярёменко Светлана Николаевна, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Философия» Донского государственного технического университета.
yaremenko47@mail.ru

INDEX

Anisimov, Sergey D., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Electrotechnics and Electronics Department, Don State Technical University.

Astvatsaturov, Artem E., PhD in Science, PhD in Philosophy, professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
astrov@pochta.ru

Boguslavskiy, Igor V., PhD in Science, professor, Vice-president for Research and Innovations, Don State Technical University.
biv63@mail.ru

Bondarenko, Tamara A., PhD in Philosophy, professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.
2467@mail.ru

Brover, Andrey V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
brover@mail.ru

Brover, Galina I., PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
brover@mail.ru

Burlakova, Victoria E., PhD in Science, professor of the Chemistry Department, Don State Technical University.
vburlakova@dstu.edu.ru

Chekmareva, Gelera I., PhD in Economics, associate professor, professor of the World Economy and International Economic Relations Department, Don State Technical University.
g.chekmareva@gmail.com

Chernyshev, Yury O., PhD in Science, professor of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Dashchinskiy, Dmitry B., EdD Candidate of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.

Dombrovskiy, Yury M., PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
yurimd@mail.ru

Flek, Mikhail B., PhD in Science, professor of the Production Automation Department, Don State Technical University.
rostvertol@aaanet.ru

Gritsykhin, Vladimir A., director, Donpodvodstroymontazh, LLC, executive director, Shelf 06, LLC.

Kolchanov, Sergey S., student of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
servatwork@gmail.com

Kolotiyenko, Sergey D., PhD in Science, professor of the Structural Materials Technology Department, Don State Technical University.

Kornilov, Yury A., Candidate of Science in Engineering, associate professor, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
wolinrok@mail.ru

Korobtsov, Alexander S., PhD in Science, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dstu.koras@yandex.ru

Kudryakov, Oleg V., PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, chief research scholar, REC "Materials", Don State Technical University.
kudryakov@mail.ru

Kurova, Ekaterina G., Candidate of Science in Philosophy, associate professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.

Lavrentyev, Anatoly A., PhD in Physics and Maths, professor, head of the Electrotechnics and Electronics Department, Don State Technical University.
alavrentyev@dstu.edu.ru

Lukyanov, Vitaly F., PhD in Science, professor, head of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
lukjanov@donpac.ru

Mednikov, Alexey F., junior research scholar, REC "Materials", Don State Technical University.

Midler, Elena A., PhD in Economics, associate professor of the Economics Department, Don State Technical University.
midler2005@yandex.ru

Mogilevskaya, Nadezhda S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
broshka@nm.ru

Morozkin, Igor S., PhD in Science, associate professor, head of the Metal Technology Department, Rostov State Transport University.
mis_tm@mail.ru

Murugova, Elena V., PhD in Linguistics, head of the World Languages and Cultures Department, Don State Technical University.
murugova@aaanet.ru

Nedorub, Anatoly S., export sales manager, 'Donskoy Tabak, JSC.
a.nedorub@yandex.ru

Ovanesyan, Natalya M., PhD in Economics, associate professor, head of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University.
nat.ovanesyan@yandex.ru

Pham Dinh Tung, Candidate of Science in Engineering, post-doctoral student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
phamdinhtung@mail.ru

Pham Thu Huong, postgraduate student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
hoaly_trang2008@yahoo.com

Polushkin, Oleg A., PhD in Science, professor, head of the Theory of Mechanisms and Machines Department, Don State Technical University.
grunt@mail.ru

Polushkin, Oleg O., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Theory of Mechanisms and Machines Department, Don State Technical University.
o.polushkin@gmail.com

Rogov, Igor E., senior lecturer of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University.

Rogozin, Dmitry V., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dmrogozin@ya.ru

Rubanov, Vladlen V., PhD in Science, professor of the Structural Materials Technology Department, Don State Technical University.

Rybak, Alexander T., PhD in Science, associate professor, professor of the Process Equipment Department, Don State Technical University.
rat_ritm@aaanet.ru

Ryzhkin, Anatoly A., PhD in Science, professor, head of the Tool Production Department, Don State Technical University.
a.ryzhkin_39@mail.ru

Sergeyev, Alexander S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Mathematics Department, Don State Technical University.
sergeev00765@mail.ru

Shtompel, Lyudmila A., PhD in Philosophy, professor, head of the Architecture and Art Philosophy and Sociology Department, Institute of Architecture and Arts, Southern Federal University.
shtompel@donpac.ru

Simonyan, Tatyana V., PhD in Economics, associate professor, professor of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.
cimonyan.t@gmail.com

Stepanov, Makar S., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Technical Regulation Technology Department, Don State Technical University.
stepanovms@yandex.ru

Strelchenko, Veronika S., teaching assistant of the Computer Science and Automatic Control Systems Department, Rostov State Transport University.
veron1982@list.ru

Sundetov, Marat K., teaching assistant of the Hylology and Welding Practice Department, Astrakhan State University.
sundetov@bk.ru

Takhtamyshev, Vladimir G., PhD in Philosophy, professor, head of the Philosophy and National History Department, Rostov State Transport University.

Tazayan, Aravan B., PhD in Philosophy, associate professor, professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.
tazayan@spark-mail.ru

Tretyakov, Oleg P., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the Department № 6, Krasnodar branch of Military Academy of Communication.

Ustyantsev, Mikhail V., postgraduate student of the Process Equipment Department, Don State Technical University.
rostumv@mail.ru

Varavka, Valery N., PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, head of the REC 'Materials', Don State Technical University.
vvaravka@dstu.edu.ru

Varukha, Evgeny N., PhD in Science, senior research scholar, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
envarukha@yandex.ru

Vasilyev, Andrey E., EdD Candidate of the Department № 6, Krasnodar branch of Military Academy of Communication.

Verchenko, Yulia K., Candidate of Science in Economics, head of the Strategic Planning of Research and Innovation Activities Sector, Don State Technical University.
vyk2005@rambler.ru

Yaremenko, Svetlana N., PhD in Philosophy, professor, head of the Philosophy Department, Don State Technical University.
yaremenko47@mail.ru

Yefimenko, Alexander G., postgraduate student of the Machine Design Principles Department, Rostov State Transport University.

Zakovorotniy, Vilor L., PhD in Science, professor, head of the Production Automation Department, Don State Technical University.
vzakovozotny@donstu.ru

Zharov, Viktor P. PhD in Science, professor, head of the Theoretical Mechanics Department, Don State Technical University.
spu-34.30@donstu.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный и распечатанный варианты статьи можно представить непосредственно в редакцию журнала. Можно зарегистрировать себя на сайте журнала (http://science.donstu.ru) как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные на сайте журнала авторы получают возможность загружать статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживать состояние своих публикаций. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал 1,5 строки с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице сведения идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (≤ 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (≤ 150 символов). Затем идёт текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (Ф. И. О., научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: полное название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объём статьи не должен превышать 16 страниц текста, 5 рисунков или фотографий; обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат TIF, PCC, JPG, PCD, MSP, DIB, CDR, CGM, EPS, WMF). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг — фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

10. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://science.donstu.ru.